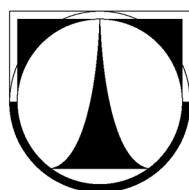


TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Návrh a realizace přípravku pro bezdotyková
měření teploty

Liberec 2011

Franc Tomáš

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií

Návrh a realizace přípravku pro bezdotyková
měření teploty

Design and Implementation of Device for Contactless
Temperature Measurement

Franc Tomáš

Studijní program:	B2612 – Elektronické informační a řídicí systémy
Studijní obor:	Mechatronika
Pracoviště:	Ústav řízení systémů a spolehlivosti Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií Technická univerzita v Liberci Studentská 2, 461 17, Liberec 1
Školitel:	Ing. Jiří Jelínek, Ph.D.
Konzultant:	Ing. Jan Václavík

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Tomáš FRANC**
Osobní číslo: **M07000013**
Studijní program: **B2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Elektronické informační a řídicí systémy**
Název tématu: **Návrh a realizace přípravku pro bezdotyková měření teploty**
Zadávající katedra: **Ústav řízení systémů a spolehlivosti**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

1. Proveďte teoretický rozbor bezdotykového měření teploty.
2. Seznamte se s dostupnými přístroji pro bezdotykové měření teploty.
3. Navrhněte a realizujte jednoduchý přípravek pro bezdotyková měření při výuce.
4. Funkční prototyp otestujte a popište jeho reálné parametry.


Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: cca 30 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:


1. Novák M. Projektování elektrotechnických systémů.
[cit. 29.09.2010]. Dostupné z: <http://www.mti.tul.cz/cs/esy-mater>.
2. Ďaďo S., Kreidl M. Měřicí převodníky fyzikálních veličin. Skriptum
ČVUT FEL. Praha 1990.
3. Jelínek J. Měřicí technika II. Přednášky TUL. Liberec 2010.
4. Kolář M. Analogová elektronika. Přednášky TUL. Liberec 2010.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jiří Jelínek, Ph.D.**
Ústav řízení systémů a spolehlivosti
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Jan Václavík**
Ústav mechatroniky a technické informatiky

Datum zadání bakalářské práce: **15. října 2010**
Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2011**


prof. Ing. Václav Kopecký, CSc.
děkan




doc. Ing. Libor Tůma, CSc.
vedoucí ústavu

V Liberci dne 15. října 2010

Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím bakalářské práce a konzultantem.

Datum

Podpis

Poděkování

Tímto způsobem bych chtěl poděkovat všem, kteří mi pomáhali při studiu a rovněž při psaní této práce. Jmenovitě panu Ing. Jiřímu Jelínkovi, Ph.D., za pomoc při návrhu a realizaci přípravku pro bezdotyková měření teploty a pomoci při psaní této práce. Dále patří velké poděkování mým rodičům, kteří mne podporovali po celou dobu mého studia.

Abstrakt

Návrh a realizace přípravku pro bezdotyková měření teploty

Bakalářská práce je zaměřena na problematiku bezdotykového měření teplot. Cílem práce je prostudovat metody a principy měření teploty pomocí termokamery a následný návrh přípravku pro bezdotyková měření teploty.

Výsledný přípravek spolu s termokamerou bude sloužit při výuce v Laboratoři měření fyzikálních veličin v budově A Technické univerzity v Liberci. Vyučující bude mít možnost pomocí čtveřice jumperů nastavit zobrazovaný symbol, který bude následně viditelný na displeji termokamery.

Klíčová slova: Bezdotykové měření teplot, termokamera

Abstract

Design and Implementation of Device for Contactless Temperature Measurement

The baccalaureate work is bent on problems of contactless temperature measuring. The aim of work is to study methods and principles of temperature measuring using thermal imager and resulting into design of the device for contactless temperature measurement.

This work will results in device together with thermal imager will be applied in education in laboratory of measuring of physical quantities of technical university in Liberec. The lector will be able to change displayed symbol using quaternion jumpers. This symbol will be displayed on display of thermal imager.

Key words: contactless temperature measurement, thermal imager

Obsah

Seznam obrázků.....	8
Seznam tabulek.....	8
Úvod.....	9
Motivace.....	9
Cíle.....	9
1 Odborná řešerše.....	10
1.1. Způsoby přenosu tepla.....	10
1.2. Bezdotykové měření teploty.....	10
1.2.1. Termografie.....	10
1.2.2. Emisivita.....	11
1.3. Termokamera.....	12
1.3.1. Dělení termovizních kamer.....	13
1.3.2. Bolometrické termovizní kamery.....	14
1.3.3. Princip mikrobolometru.....	15
1.3.4. Vlastnosti bolometrického snímače.....	16
1.4. Bezdotykové teploměry.....	17
1.4.1. Princip pyrometru.....	17
1.4.2. Kalibrace bezdotykových teploměrů.....	19
1.4.3. Dělení pyrometrů.....	20
2 Přípravek pro bezdotyková měření teploty.....	21
2.1. Návrh přípravku pro bezdotyková měření teploty.....	21
2.1.1. Napájení přípravku.....	24
2.2. Schéma zapojení.....	25
2.3. Deska plošných spojů.....	26
2.4. Seznam použitých součástí.....	28
2.5. Výsledný přípravek.....	29
3 Experimentální měření na hotovém prototypu.....	30
3.1. Ukázkové snímky.....	30
Shrnutí vlastností funkčního prototypu přípravku.....	31
Závěr.....	32
Citovaná literatura.....	33
Seznam příloh.....	35
A Termografické snímky všech pracovních stavů přípravku.....	36
B Seznam příloh v elektronické formě.....	45

Seznam obrázků

Obrázek 1: Termokamera Fluke Ti55	12
Obrázek 2: Termosnímek motoru	13
Obrázek 3: Termosnímek motoru	13
Obrázek 4: Schéma termovizní kamery s rozkladem obrazu a chlazeným detektorem.....	14
Obrázek 5: Bolometrický čip.....	14
Obrázek 6: Princip bolometrického detektoru.....	15
Obrázek 7: Struktura bolometru	15
Obrázek 8: Struktura mikrobolometru	16
Obrázek 9: Blokové schéma bezdotykového teploměru	17
Obrázek 10: Blokové schéma elektroniky bezdotykového teploměru	18
Obrázek 11: Kalibrátor bezdotykového teploměru.....	19
Obrázek 12: Stabilizace teploty regulátorem	19
Obrázek 13: Regulace s měřením teploty přesným teploměrem.....	19
Obrázek 14: Přehled rozmístění segmentů displeje	21
Obrázek 15: Přehled zobrazovaných symbolů	23
Obrázek 16: Schéma zapojení přípravku	25
Obrázek 17: DPS – přední strana.....	26
Obrázek 18: DPS – zadní strana	26
Obrázek 19: DPS – osazení součástek	27
Obrázek 20: Výsledný přípravek – pohled shora	29
Obrázek 21: Výsledný přípravek – pohled zdola	29
Obrázek 22: Ukázkový snímek – symbol „4“	30

Seznam tabulek

Tabulka 1: Přehled emisivity vybraných látek	11
Tabulka 2: Pravdivostní tabulka	22

Úvod

Termovizní kamera je efektivní zařízení pro bezdotyková měření povrchových teplot, která najde své uplatnění v mnoha oborech, zejména v energetice, v oblasti přenosu tepla, v medicíně, ve stavebnictví, při dálkových průzkumech Země a mnoha dalších oborech. V našem případě bude termokamera spolu s navrženým měřeným přípravkem sloužit jako laboratorní úloha, ve které se studenti seznámí s metodami měření a vyzkouší si práci s termokamerou na již zmíněném přípravku. Termokamera poskytuje názorné obrazové záznamy, na kterých je možno sledovat tepelné procesy, vznikající např. průchodem elektrického proudu vodičem, rezistorem, či jiným prvkem. V elektronice nechtěný jev zahřívání rezistoru při průchodu elektrického proudu je využit v navrženém přípravku k měření teploty, na kterém se dá pozorovat postupné zahřívání jak pasivních (rezistorů, tranzistorů), tak i aktivních prvků, kterými je deska osazena.

Motivace

Bezdotykové měření teploty je moderní způsob jak snímat teplotu z povrchu těles s velikou přesností a nabízí široké možnosti uplatnění. S moderními kamerami lze zaznamenat rozdíl teplot menší než $0,05^{\circ}\text{C}$.

Cílem práce je navrhnout zařízení, přípravek, na kterém se bude moci vyzkoušet funkce termovizní kamery.

Cíle

- Provést rešerši o způsobech přenosu tepla, bezdotykovém měření a studovat principy termovizních kamer
- Navrhnout přípravek pro bezdotyková měření teploty
- Provést měření na přípravku a odzkoušet jeho funkčnost

1 Odborná řešerše

1.1. *Způsoby přenosu tepla*

Existují tři základní typy přenosu tepla: vedení (kondukce), proudění (konvence) a záření (radiace). Veškeré teplo je přenášeno jedním z těchto tří typů přenosů, ale obvykle je přenášeno kombinací dvou nebo dokonce všech tří typů přenosů. Přenos tepla vedením se uplatňuje u pevných těles, kde se tepelná energie postupně šíří. K přenosu tepla prouděním dochází v důsledku proudění a promíchávání různě ohřátých částí hmoty. Těmito dvěma způsoby, tedy vedením a prouděním se může teplo šířit pouze v prostředí, které je vyplněno nějakou látkou. Příčinou šíření je neustálý pohyb částic hmoty, které na sebe vzájemně působí, např.: vzájemnými srážkami, při kterých dochází k předávání kinetické energie až do doby, kdy se obě rozdílné teploty vyrovnají. Jako třetí způsob přenosu tepla je záření, při kterém dochází k vyzařování energie ze zdroje ve formě elektromagnetických vln. Tyto vlny jsou následně pohlcovány ozařovaným tělesem. Tepelné záření se odlišuje od vedení a proudění v tom, že tepelná energie se může přenášet i v nevyplněném prostoru, tedy ve vakuu. Záření se přenáší ve formě elektromagnetického záření, které ke svému přenosu nepotřebuje žádnou látku.[9]

1.2. *Bezdotykové měření teploty*

Bezdotykové měření teploty je rychlý a přesný způsob stanovení teploty tělesa, které využívá pro nás neviditelného infračerveného záření. Každé těleso, které má povrchovou teplotu vyšší než absolutní nula ($-273,15^{\circ}\text{C}$), vyzařuje elektromagnetické záření, které odpovídá jeho teplotě.

1.2.1. Termografie

Termografie je vědní obor, který se zabývá analýzou teplotního pole na povrchu tělesa pomocí tzv. bezkontaktní metody a následného zobrazení výsledného obrazu v podobě infračerveného snímku, tzv. termogramu. Základy termografie položil německý fyzik Max Planck, který byl v roce 1918 oceněn Nobelovou cenou za práci na záření černého tělesa. Absolutně černé těleso je ideální těleso, které pohlcuje veškeré záření všech vlnových délek, které dopadá na jeho povrch bez ohledu na vlnovou délku a úhel, pod kterým je povrch tělesa ozářen a zároveň je ideální zářič, který ze všech možných těles o stejné teplotě vysílá největší

množství zářivé energie. Celkové množství energie, kterou ze svého povrchu vyzáří absolutně černé těleso za jednotku času, závisí pouze na jeho teplotě. Bohužel neexistuje žádný materiál, který by měl vlastnosti absolutně černého tělesa. Jediný zdroj záření, který se blíží záření absolutně černého tělesa je Slunce, které při teplotě 5800 Kelvinů vyzáří stejné množství energie, jako absolutně černé těleso při teplotě 2,7 K. Tento fyzikální pojem zavedl v roce 1862 německý fyzik Gustav Robert Kirchhoff. [2]

1.2.2. Emisivita

Abychom mohli správně stanovit teplotu měřeného tělesa, je nutné znát jeho emisivitu. Emisivita vyjadřuje číselně zhoršení vyzařovacích vlastností zdroje ve srovnání s absolutně černým tělesem a je závislá na vlnové délce a teplotě tělesa. Číselně může emisivita nabývat hodnot od 0 do 1, přičemž hodnotě 1 odpovídá jen absolutně černé těleso. Emisivita je tedy poměr celkového zářivého toku vyzářeného daným tělesem k zářivému toku, který by vyzářilo absolutně černé těleso. Zjednodušeně řečeno, emisivita je schopnost látek vyzařovat elektromagnetické záření.[9]

Tabulka 1: Přehled emisivit jednotlivých látek [10]

Látka	Teplotní emisivita	Látka	Teplotní emisivita
asfalt	0,90-0,98	oděv (černý)	0,98
beton	0,94	lidská kůže	0,98
cement	0,96	pěna	0,75-0,80
písek	0,9	dřevěné uhlí (prášek)	0,96
zem	0,92-0,96	lak	0,80-0,95
voda	0,92-0,96	lak (matný)	0,97
led	0,96-0,98	guma (černá)	0,94
sníh	0,83	umělá hmota	0,85-0,95
sklo	0,90-0,95	dřevo	0,9
keramika	0,90-0,94	papír	0,70-0,94
mramor	0,94	oxidy chrómu	0,81
omítka, sádra	0,80-0,90	oxidy mědi	0,78
malta	0,89-0,91	oxidy železa	0,78-0,82
cihla (červená)	0,93-0,96	textil	0,9

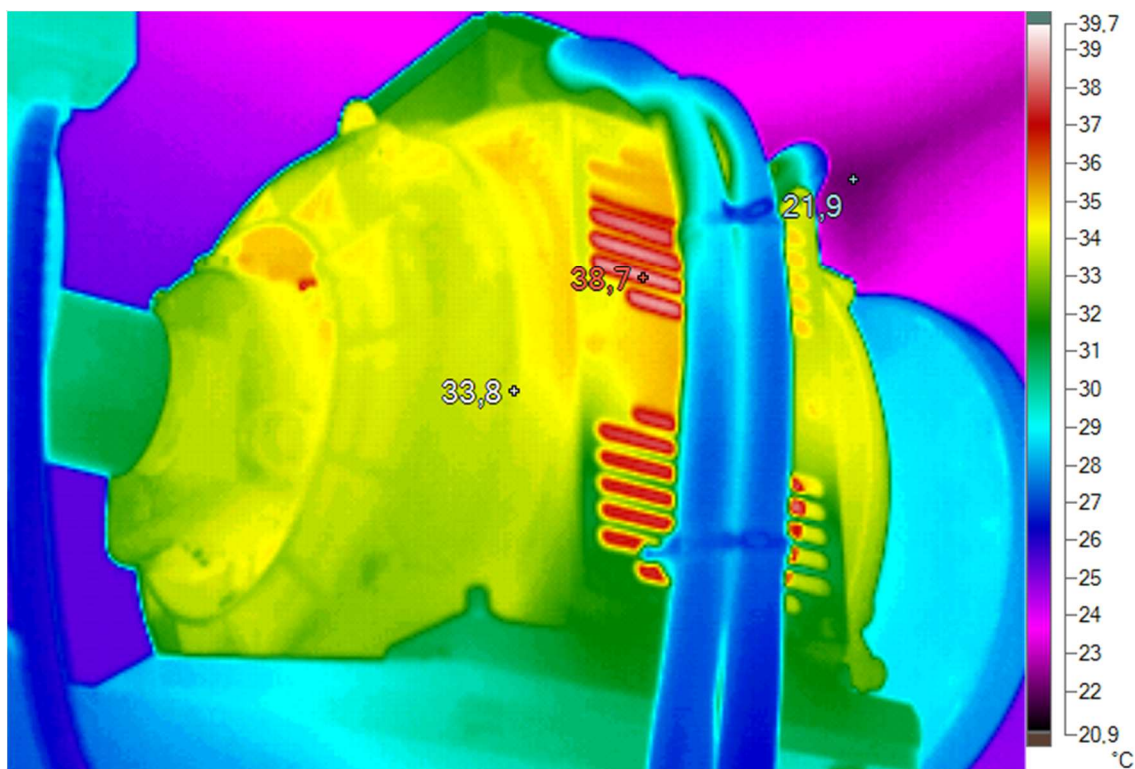
1.3. Termokamera

Termokamera (Obr. 1) je zařízení, které umožňuje zobrazit infračervené záření tělesa tak, aby jej bylo vidět pouhým okem (vizualizace). Termokamery nacházejí své uplatnění např. při hledání úniku tepla z budov (stavební termografie), sledování elektrických vedení a zjišťování jejich poškození, neinvazivní detekci zánětů pod kůží, detekci pohybu v zabezpečených objektech, noční vidění a v mnoha dalších odvětvích. Termokamera převádí infračervené záření na lidským okem viditelný snímek, nazývaný termogram (Obr. 2).

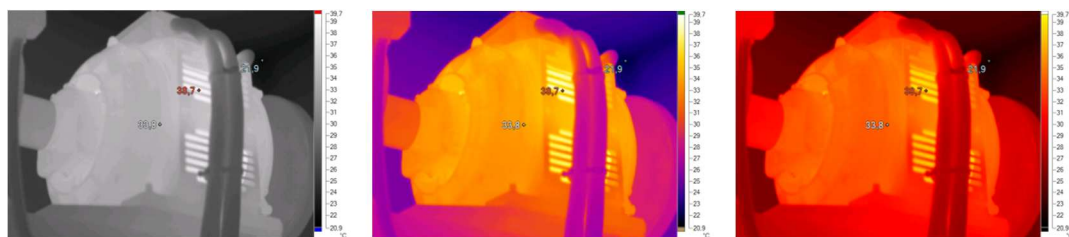


Obr. 1 Termokamera Fluke Ti55

Termogram je infračervený snímek pořízený termokamerou, který umožňuje vidět rozložení teploty tělesa. Jelikož je infračervené záření pouhým okem neviditelné, infračervené snímky se vizualizují pomocí okem viditelných palet, které přiřazují barvu jednotlivým teplotám. Stejný snímek může být zobrazen v odlišných paletách (vysoký kontrast, stupně šedi, teplý kov, železo (Obr. 3)). Termovizní snímky mohou být radiometrické a neradiometrické. Radiometrické měřicí systémy umožňují provádět měření teplot a parametry snímku upravit i po jeho uložení pomocí výrobcem dodávaných softwarů pro úpravu snímků. Můžeme zde nastavit vzdálenost měřeného tělesa od snímače kamery, emisivitu a údaje o okolní atmosféře. Všechny tyto údaje mají vliv na výslednou naměřenou teplotu. Na přesnost měřené teploty má velký vliv rozlišení detektoru kamery, nejlevnější modely mají rozlišení 80 X 80 obrazových bodů (pixelů), naopak u nejdražších modelů je rozlišení 1024 X 1024 obrazových bodů. Dalším neméně důležitým parametrem, který má vliv na stanovení teploty je teplotní citlivost, která u nejlepších modelů může dosahovat méně než 50mK, což je v přepočtu 0,05 °C[9]



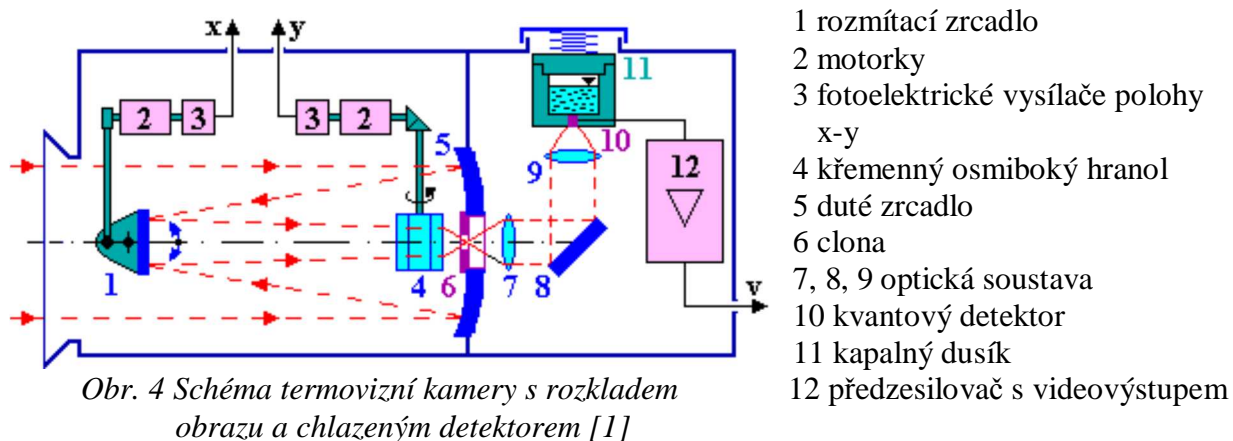
Obr. 2 Příklad termogramu – zobrazení „vysoký kontrast“



Obr. 3 Zobrazení termogramu v různých paletách, postupně zleva: stupně šedi, teplý kov, železo

1.3.1. Dělení termovizních kamer

Termovizní kamery můžeme dělit podle různých kritérií, dle způsobů zobrazování rozlišujeme kamery s rozkladem obrazu – scannery a bez rozkladu obrazu – s maticovými detektory. Dle způsobu chlazení detektoru existují přesnější kamery s chlazeným detektorem (Obr. 4), a kamery s nechlazeným detektorem. Dle jiných kritérií lze termovizní kamery dělit na krátko vlnové a dlouho vlnové, rychlé (pro záznam videosekvencí) a pomalé, kompaktní či více komponentové apod.[1]



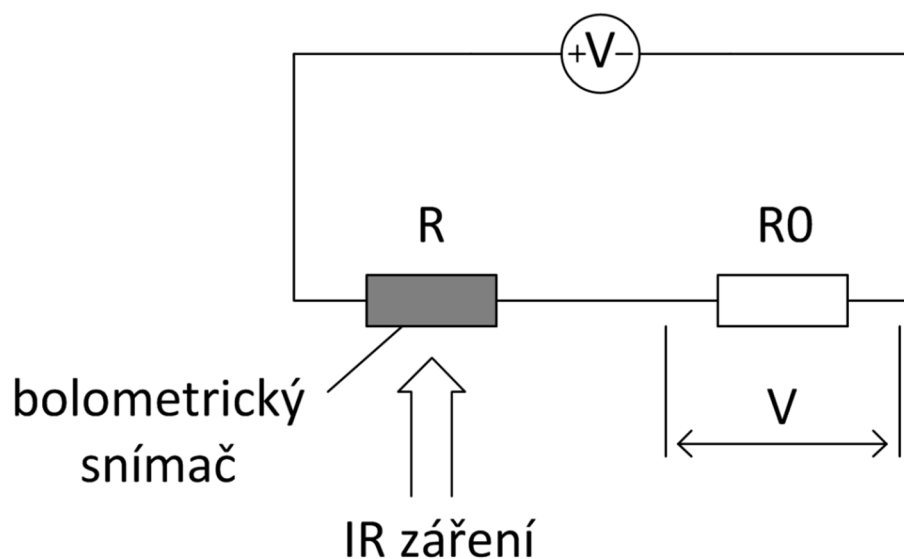
1.3.2. Bolometrické termovizní kamery

V dnešních moderních termokamerách je na místě kvantového detektoru použit infračervený senzor ve formě čipu – tzv. bolometrický čip (Obr. 5). Bolometr pochází z řeckého slova „bole“, což v překladu znamená paprsek. Jedná se o senzory pro bezdotykové měření teplot pracující na principu pyrometrie, to znamená, že měří celkově vyzářený tepelný výkon prostřednictvím infračerveného záření. Bolometrický čip tak tvoří moderní alternativu k dnes již zastaralým senzorům pro bezdotykové měření teploty, jako jsou infratermočlánky, pyroelektrické senzory a fotonové snímače.



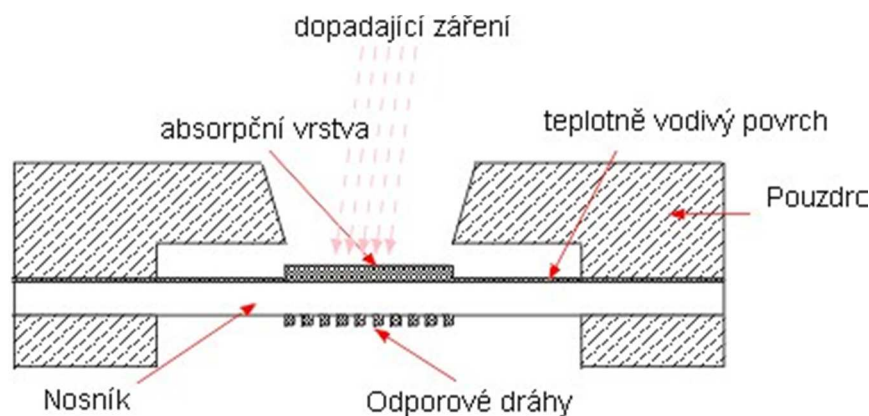
Obr. 5 Bolometrický čip [9]

Princip bolometrického detektoru (Obr. 6) je jednoduchý, dá se říci, že je obdobný kovovým odporovým senzorům teploty. Elektrický odpor bolometru se stejně jako u kovového odporového senzoru mění s teplotou, avšak v tomto případě je odpor závislý na množství absorbovaného infračerveného záření. Aby byla zajištěna správná funkce, tedy aby bolometr absorboval pouze dopadající infračervené záření, musí být dokonale tepelně izolován od svého okolí.



Obr. 6 Princip bolometrického detektoru

Infračervené záření dopadá na absorpční vrstvu senzoru tvořenou zlatou fólií, která pohlcuje až 95% záření. To ohřívá teplotně vodivý povrch i nosník. Na spodní straně nosníku je napařený meandr odporové dráhy, jejíž odpor se mění lineárně s teplotou (Obr. 7).[9]

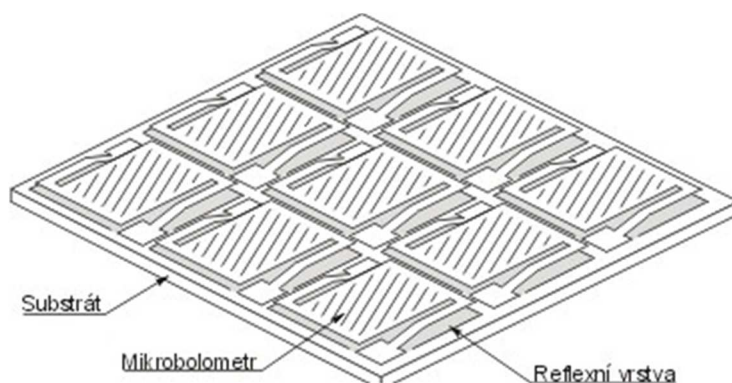


Obr. 7 Struktura bolometru [9]

1.3.3. Princip mikrobolometru

Pro pořizování termografických snímků však samotný bolometr nestačí, proto se začaly vyrábět tzv. mikrobolometry. Jedná se o integrované obvody, které obsahují desítky až statisíce bolometrů uspořádaných do matice, které jsou již vhodné pro pořizování termografů. Mikrobolometr se tedy od klasického bolometru liší počtem odporových plošek umístěných

na jednom senzoru. Obvykle se jedná o dvourozměrné pole čtvercového tvaru, pokryté teplotně citlivým odporovým materiálem ve formě plošek, které absorbují infračervené záření. Celý mikrobolometrický senzor je vyroben jako monolitický křemíkový obvod.[9]



Obr. 8 Struktura mikrobolometru [9]

1.3.4. Vlastnosti bolometrického snímače

Bolometrické snímače se používají v dnešních moderních termokamerách díky následujícím vlastnostem:

- Jsou rychlé – mají krátkou časovou konstantu
- Mají velkou citlivost
- Velký pracovní teplotní rozsah (-40°C až 100°C)
- Bez problémů lze měřit vysoký rozsah teplot měřeného objektu – i nad 1500°C
- Malé rozměry mikrobolometrů – jen desítky μm
- Nedochází k ovlivnění měřeného tělesa
- Velký počet snímačů u mikrobolometrů – i přes 80 tisíc na jednom čipu

Na druhé straně jsou zde i záporné vlastnosti:

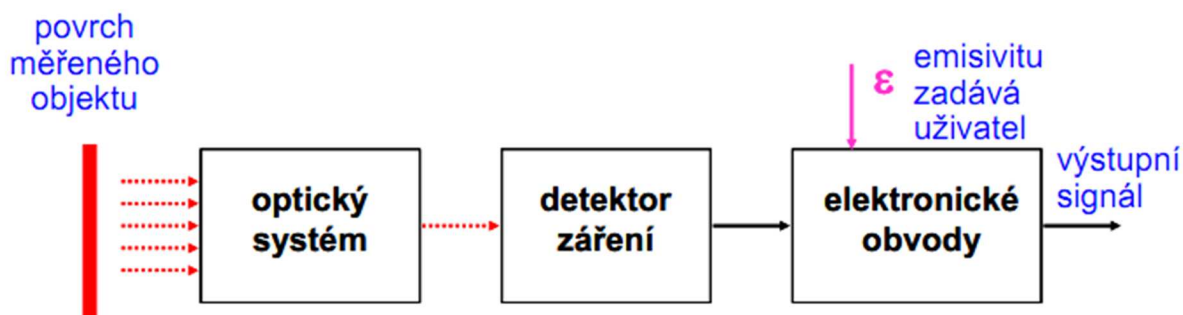
- Vysoká cena
- Nutné chlazení u některých typů

1.4. Bezdotykové teploměry

Bezdotykové teploměry, tzv. pyrometry využívají ke stanovení teploty měřeného tělesa stejně jako moderní termokamery bolometrický snímač nebo pyrometrický senzor. V dávných dobách nacházely pyrometry použití zejména v prostředích, kde bylo třeba měřit vysoké teploty, které přesahovaly 500°C a nebylo zde možné použít klasický dotykový teploměr. Jednalo se zejména o chemický a silikátový průmysl (sklářství, cementárny, vápenky, keramický průmysl). Během posledních let se aplikace bezdotykových teploměrů rozšířila a to hlavně díky výrazně nižším teplotám, které je pyrometr schopen změřit. Dnešní moderní bezdotykové teploměry umožňují měřit teplotu v rozsahu od -40°C do $+10\,000^{\circ}\text{C}$, což vedlo k jejich masivnímu rozšíření v oborech, jako je potravinářství, elektronika, papírenský a textilní průmysl apod. Bezdotykové teploměry se vyznačují zejména nízkou časovou konstantou (řádově 10^{-2} s) a vzhledem k vysoké citlivosti mohou být použity pro měření teploty těles malých rozměrů, výrobce udává průměr měřené plochy menší než 1 mm. [2]

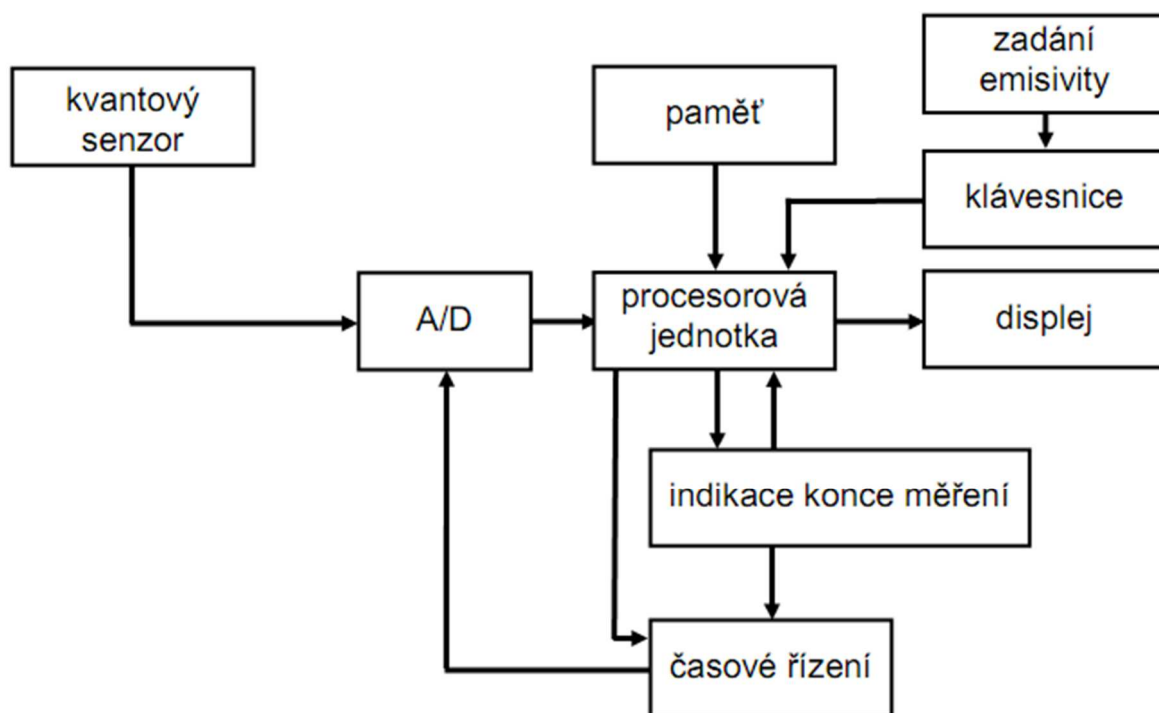
1.4.1. Princip pyrometru

Energie vyzařovaná měřeným objektem prochází optickým systémem a dopadá na detektor, který je u většiny pyrometrů bolometrický. Detektor převádí tepelné záření na elektrické napětí, proud nebo odpor. Optický systém má ve většině případů pevnou ohniskovou vzdálenost.



Obr. 9 Blokové schéma bezdotykového teploměru[2]

Výstupní elektrické signály z detektoru záření jsou následně zpracovány elektrickými obvody, přičemž o celé řízení se stará mikroprocesor. Detailnější popis elektronických obvodů je vidět na obr. 10.



Obr. 10 Blokové schéma elektroniky bezdotykového teploměru[2]

Signál z detektoru je pomocí A/D převodníku digitalizován a odeslán do mikroprocesoru, kde je zpracován podle vloženého programu. Mikroprocesor zajišťuje kromě řízení procesu měření i potřebné matematické zpracování měřených dat, linearizaci, různé korekce, kompenzaci vnějších vlivů, převody fyzikálních jednotek, ukládání dat do paměti a znázornění výstupu na displeji. Většina přístrojů má displej, na kterém je možné číst naměřené hodnoty v požadovaných jednotkách, zobrazit maximální a minimální teplotu, nastavenou emisivitu a případně další údaje. Velikost emisivity zadává uživatel prostřednictvím obslužné klávesnice.[2]

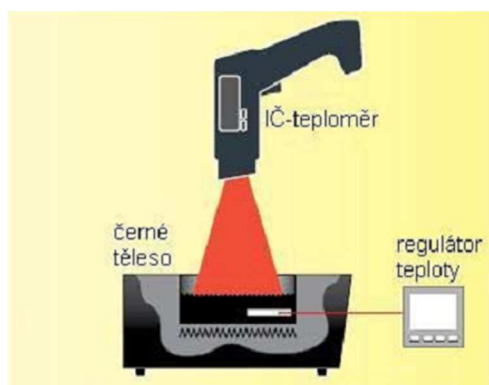
1.4.2. Kalibrace bezdotykových teploměrů

Pro zajištění správné funkce bezdotykového teploměru je nutná pravidelná kalibrace, ke které se většinou využívá záření černého tělesa. Jedná se o tzv. kalibrátor, jehož základem je válcová dutina vyrobená z kovového materiálu a povrchově upravená černou barvou. Emisivita dna dutiny je známá a pohybuje se v rozmezí od 0,98 do 0,995. Teplota dna je udržována na požadované hodnotě pomocí vhodného regulátoru teploty (Obr. 12 a 13).

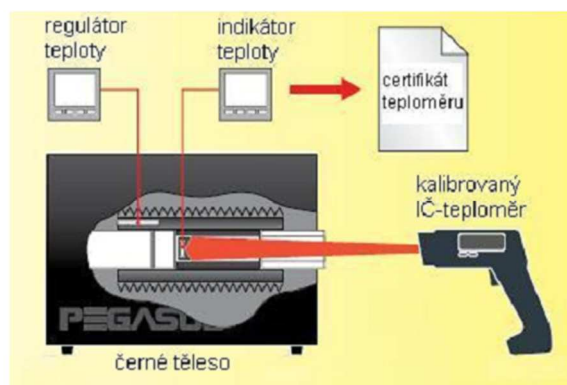


Obr. 11 Kalibrátor bezdotykového teploměru[2]

Kalibrace (Obr. 11) se provádí zaměřením bezdotykového teploměru na plochu dutiny černého tělesa, přičemž musíme respektovat velikost zorného pole bezdotykového teploměru a vyčkáme na ustálení údajů.[2]



Obr. 12 Stabilizace teploty regulátorem [2]



Obr. 13 Regulace s měřením teploty přesným teploměrem [2]

1.4.3. Dělení pyrometrů

Dělení pyrometrů podle oblasti spektra, která se využívá k měření:

- Úhrnné (širokopásmové)
- Pásmové (úzkopásmové)
- Poměrové

Dělení podle konstrukce jednotlivých částí pyrometrů:

Optický systém:

- Clonkový
- Čočkový
- Zrcadlový
- Světlovodný

Zaměřovací systém:

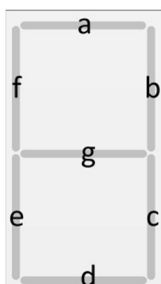
- Optický přes objektiv
- Světelný (např. laserový paprsek)
- Měřidlový (puškový)

2 Přípravek pro bezdotyková měření teploty

Přípravek pro bezdotykové měření teploty bude používán v laboratoři měření fyzikálních veličin TK8 v budově A Technické univerzity v Liberci jako měřicí úloha.

2.1. Návrh přípravku pro bezdotyková měření teploty

Srdcem přípravku je dekodér pro sedmisegmentový displej, v tomto případě je to integrovaný obvod 74LS247 a jako displej je použito sedm výkonových metalizovaných rezistorů o velikosti (14 X 4) mm. Rezistory jsou na desce rozmístěny do tvaru sedmisegmentového displeje, tak aby bylo možné termokamerou sledovat, jaký symbol se na displeji „rozsvítí“. Ve skutečnosti samozřejmě nejde o svícení, ale o zahřívání rezistorů na předem stanovenou teplotu. Jelikož všech sedm rezistorů je dvou-wattových a aby došlo k zahřátí na požadovanou teplotu, je nutné, aby jimi procházel proud o velikosti 50 mA. Jelikož integrovaný obvod 74LS247 má dle katalogového údaje maximální výstupní proud 24 mA, je tedy nutné jednotlivé segmenty spínat tranzistorem, který je zde zapojen jako spínač. Zde byly použity NPN tranzistory BC337-40 na jejichž kolektory jsou připojené jednotlivé segmenty displeje, které jsou napájeny přímo z externího zdroje, o kterém bude řeč později. Přehled rozmístění jednotlivých segmentů je vidět na Obr. 14.



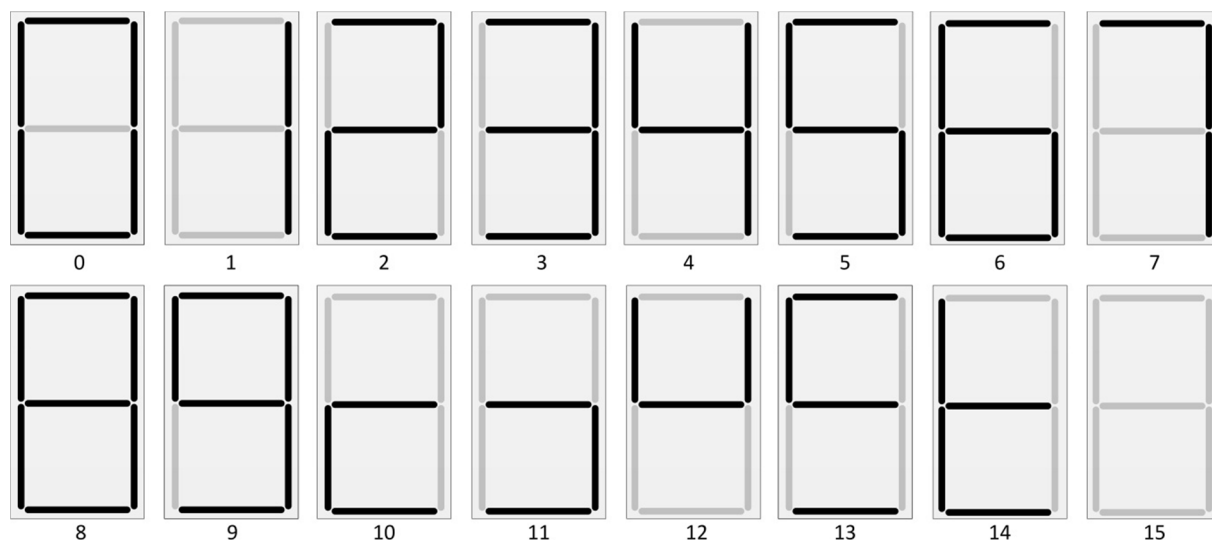
Obr. 14 Přehled rozmístění segmentů displeje

Dle pravdivostní tabulky integrovaného obvodu 74LS247, je aktivní výstup reprezentován logickou nulou, tedy jak je v katalogovém listu uvedeno hodnotou LOW. Můžeme tedy říci, že se jedná o negativní logiku. Abychom mohli správně spínat NPN tranzistor, je tedy nutné tento signál invertovat, v tomto případě pomocí integrovaného obvodu řady 7404, konkrétně 74LS04N. V jednom pouzdře typu DIP 14 se nachází šest invertorů. Použití invertorů

zde má ještě jeden podstatný důvod. Invertor je elektronický obvod s vysokou vstupní impedancí, tudíž nezatěžuje výstup obvodu, ke kterému je připojen. Uživatel může za pomoci čtveřice jumperů nastavit, jaký symbol se zobrazí. Všechny integrované obvody, kterými je deska osazena jsou typu TTL, kde každý nezapojený vstup se chová jako logická jednička. Jsou-li všechny jumpery vloženy, rezistory R1 až R4 protéká proud 1 mA a na vstupy integrovaného obvodu 74LS247 jsou přivedeny logické nuly, naopak jsou-li všechny jumpery vyjmuté, přes rezistory R1 až R4 jsou na vstupy přivedeny logické jedničky. Chování celého obvodu je popsáno pomocí pravdivostní tabulky (Tab. 2), zde uvedená čísla zobrazovaných symbolů jsou přesně popsána na Obr. 14. Pro větší přehlednost celé tabulky jsem výstupy uvedl již invertované, tedy v pozitivní logice. Tedy logická jednička na výstupu znamená, že daný symbol bude „svítit“.

Tabulka 2: Pravdivostní tabulka

Zobrazené symboly uvedeny na Obr. 15	Vstupy 0 = jumper vložen				Výstupy - již invertované						
	ID	IC	IB	IA	A	B	C	D	E	F	G
0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0
1	0	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0
2	0	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1
3	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1
4	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1
5	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
6	0	1	1	0	1	0	1	1	1	1	1
7	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
8	1	0	0	0	1	1	1	1	1	1	1
9	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1
10	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1
11	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
12	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	1
13	1	1	0	1	1	0	0	1	0	1	1
14	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1	1
15	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0



Obr. 15 Přehled zobrazovaných symbolů (čísla jednotlivých symbolů viz Tab. 2)

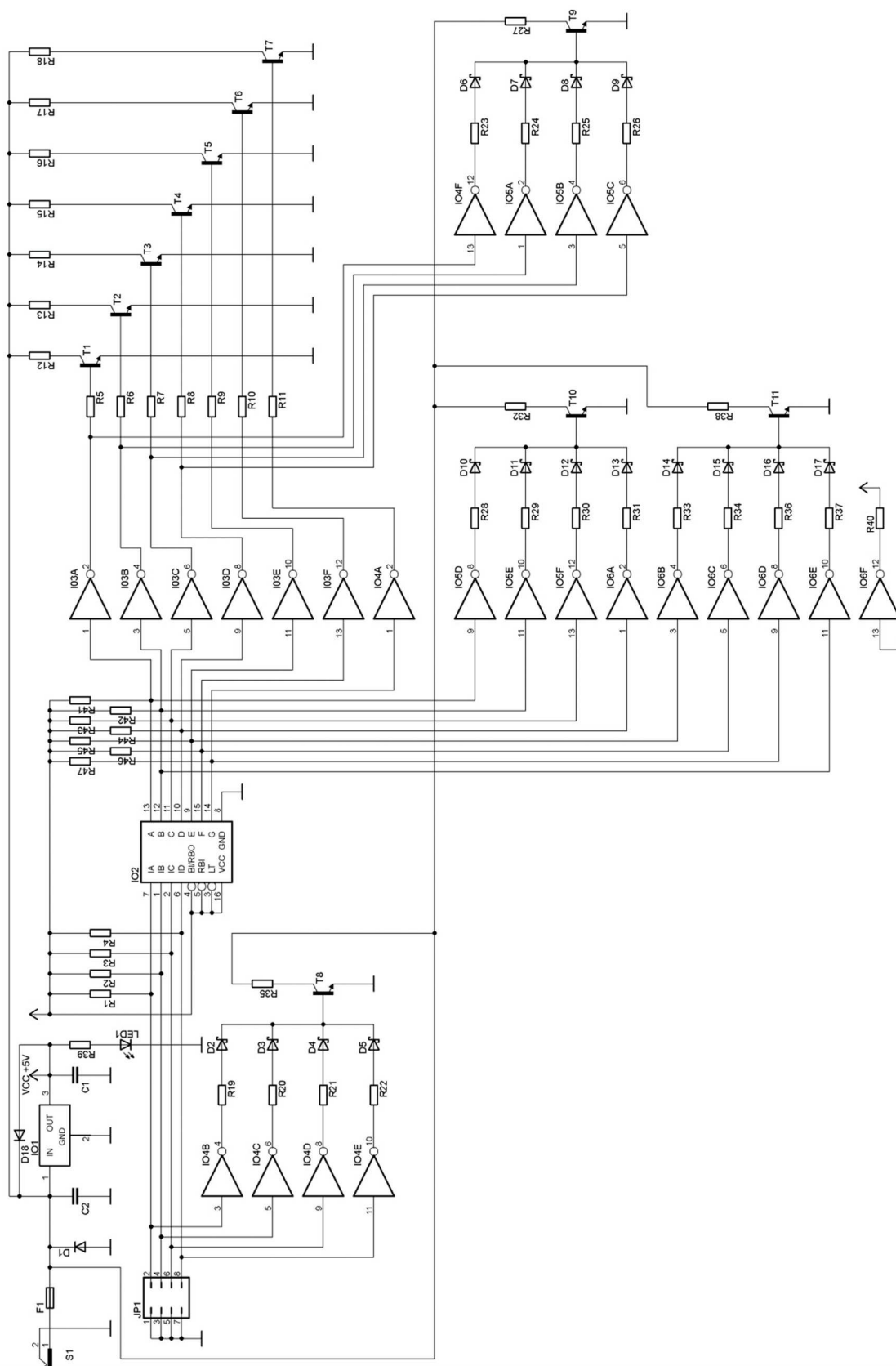
Celý přípravek obsahuje kromě sedmisegmentového displeje také čtveřici rezistorů, které se zahřívají na čtyři různé teploty, které se stejně jako v předchozím případě nastavují pomocí čtveřice jumperů. Použité rezistory jsou stejné jako jednotlivé segmenty displeje. Každý rezistor je stejně jako u displeje ovládán tranzistorem BC337-40, s tím rozdílem, že neobsahuje jeden bazový rezistor, ale obsahuje čtveřici rezistorů, které jsou přes invertory připojené do obvodu a dle uspořádání jumperů jsou připojovány nebo odpojovány, čímž mění velikost bazového proudu tranzistoru, který ovlivňuje kolektorový proud procházející zahřívajícím se rezistorem a tak umožňuje měnit teplotu. První výkonový rezistor je přímo připojen na jumpery a zbylé tři jsou připojeny na výstupy integrovaného obvodu 74LS247. Každý bazový rezistor je od tranzistoru oddělen Schottkyho diodou, která díky svému nízkému úbytku napětí ($U_d = 0,25 \text{ V}$) nijak výrazně neovlivní napětí na rezistorech, a také zamezí zpětnému průchodu proudů od ostatních rezistorů zapojených na bázi tranzistoru.

2.1.1. Napájení přípravku

Jak již bylo zmíněno, veškeré integrované obvody jsou technologie TTL, tedy jejich napájecí napětí je +5V. Celý přípravek je napájen z rozváděče umístěného v laboratoři TK8, který obsahuje transformátor s dvaceti sekundárními vynutími. Každé vinutí je usměrněno za pomoci čtyřcestného usměrňovače, dále filtrováno elektrolytickým kondenzátorem a před výstupem je vratná 500 mA pojistka. Napětí na jednotlivých nezatížených výstupech je 14 V, přičemž při zatížení klesne přibližně na 12 V. Jedná se tedy o nestabilizovaný stejnosměrný zdroj, který je vyveden ke každému stolu v laboratoři a je zakončen napájecím konektorem o průměru 2,1 mm.

Veškeré integrované obvody, kterými je deska osazena jsou napájeny stabilizovaným napětím +5 V. Je zde použit klasický stabilizátor 7805. Celé zařízení je chráněno proti přepólování ochranou diodou D1, a kdyby vznikla nějaká porucha, je zde vratná 500 mA pojistka F1. Stabilizátor je ještě chráněn diodou D18, která zabrání zničení stabilizátoru při poruše napájecího zdroje. Připojení napájecího napětí je signalizováno zelenou LED diodou, která je přes odpor R39 připojena na výstup stabilizátoru, tedy zároveň signalizuje funkčnost napájecího napětí pro integrované obvody.

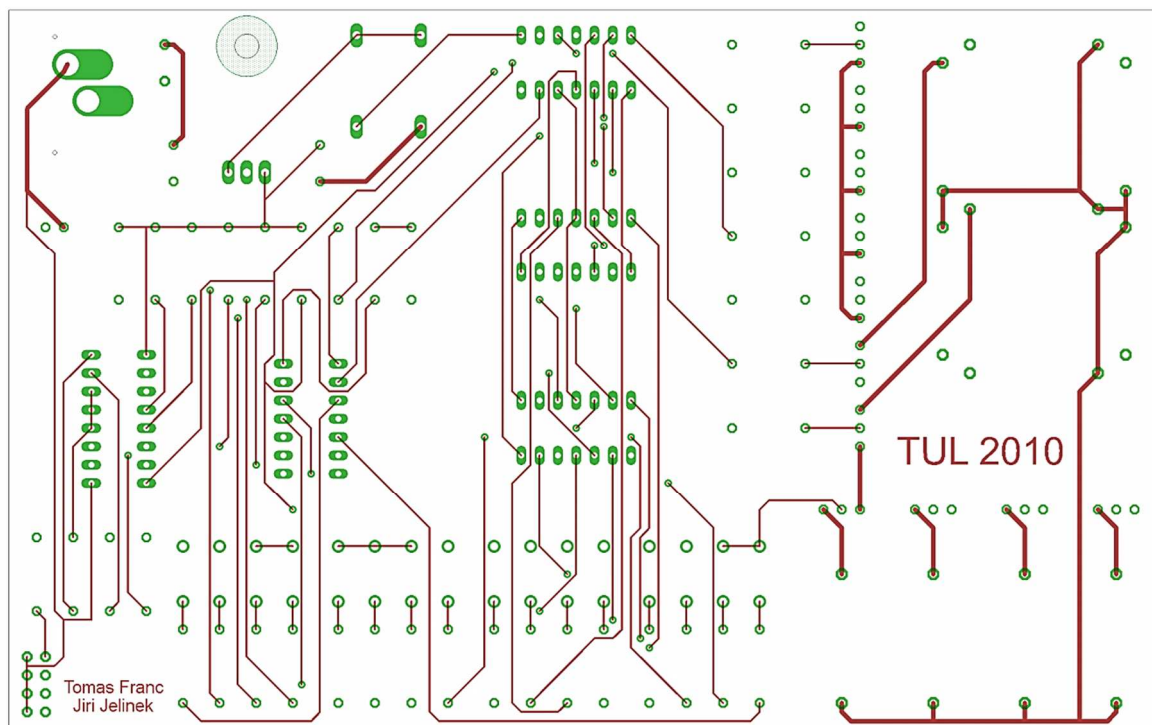
2.2. Schéma zapojení



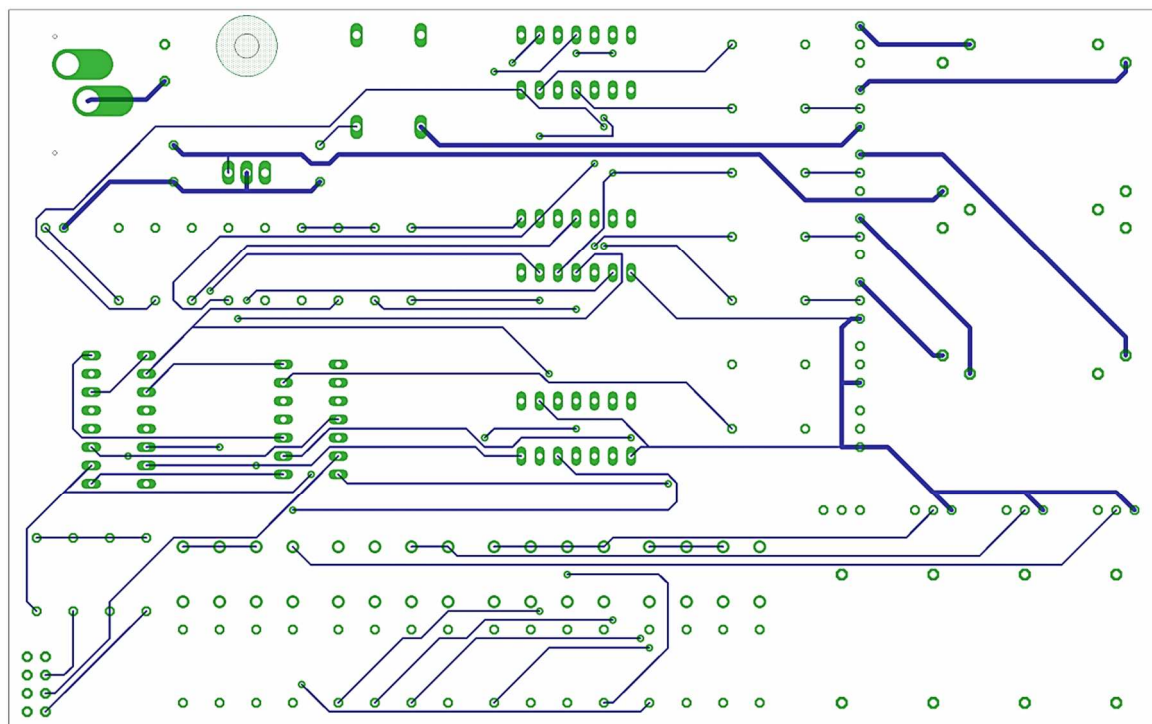
Obr. 16 Schéma zapojení přípravku pro bezdotyková měření teploty

2.3. Deska plošných spojů

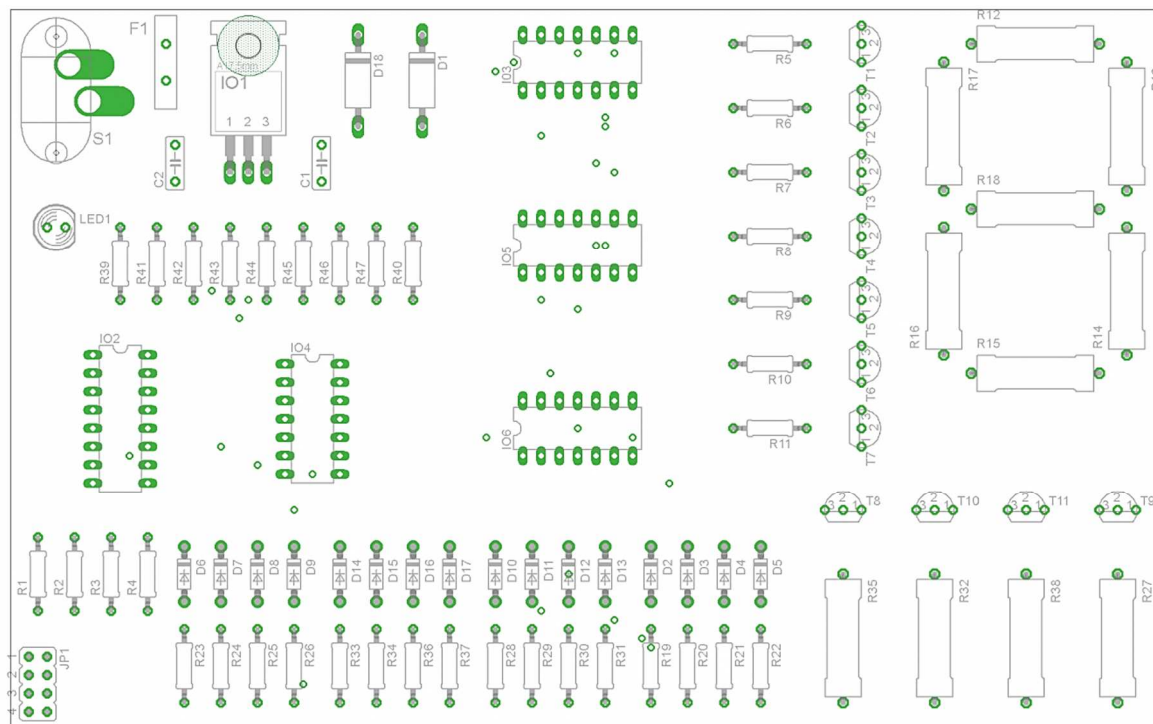
Jedná se o oboustrannou desku plošných spojů (dále jen DPS), osazenou z přední strany součástkami s drátovými vývody pro klasickou montáž.



Obr. 17 DPS – přední strana, pohled ze strany součástek



Obr. 18 DPS – zadní strana, pohled ze strany součástek



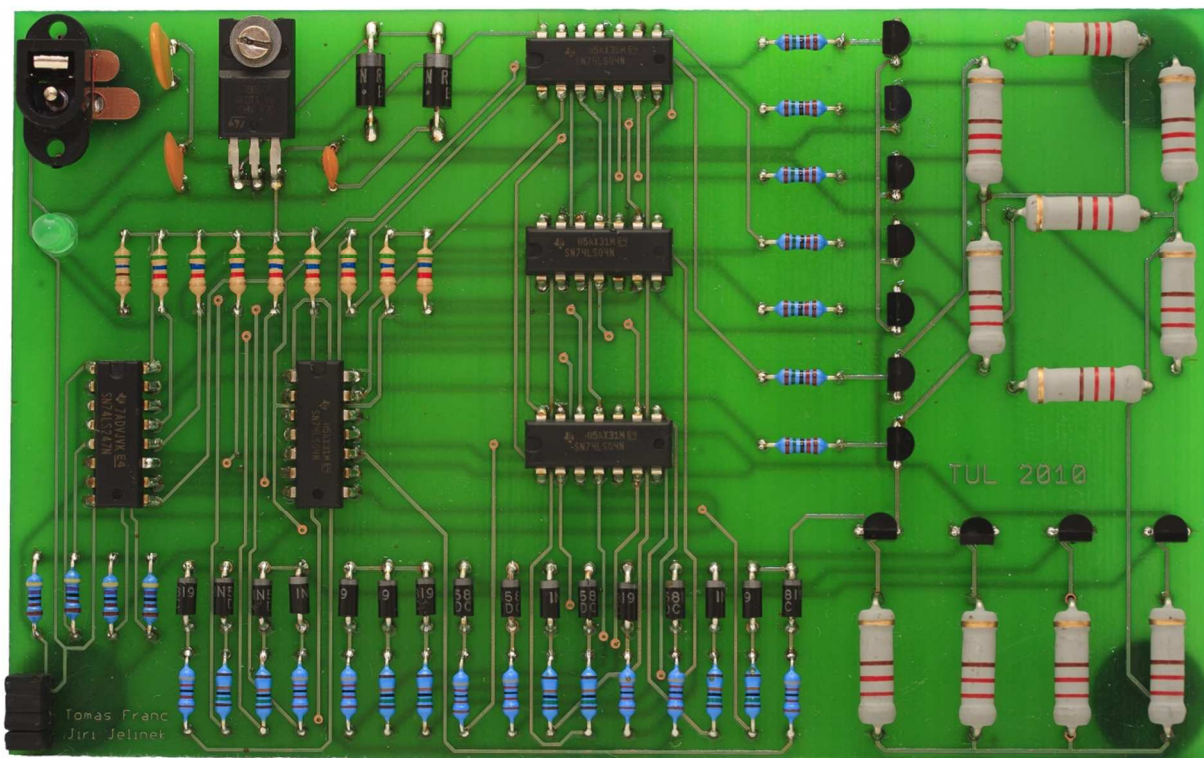
Obr. 19 DPS – osazení součástek

DPS je zespodu osazena kulatými podstavci, které zamezují klouzání po desce stolu a také při položení na vodivý materiál udržují desku v dostatečné výšce, aby nedošlo ke zkratování vývodů součástek.

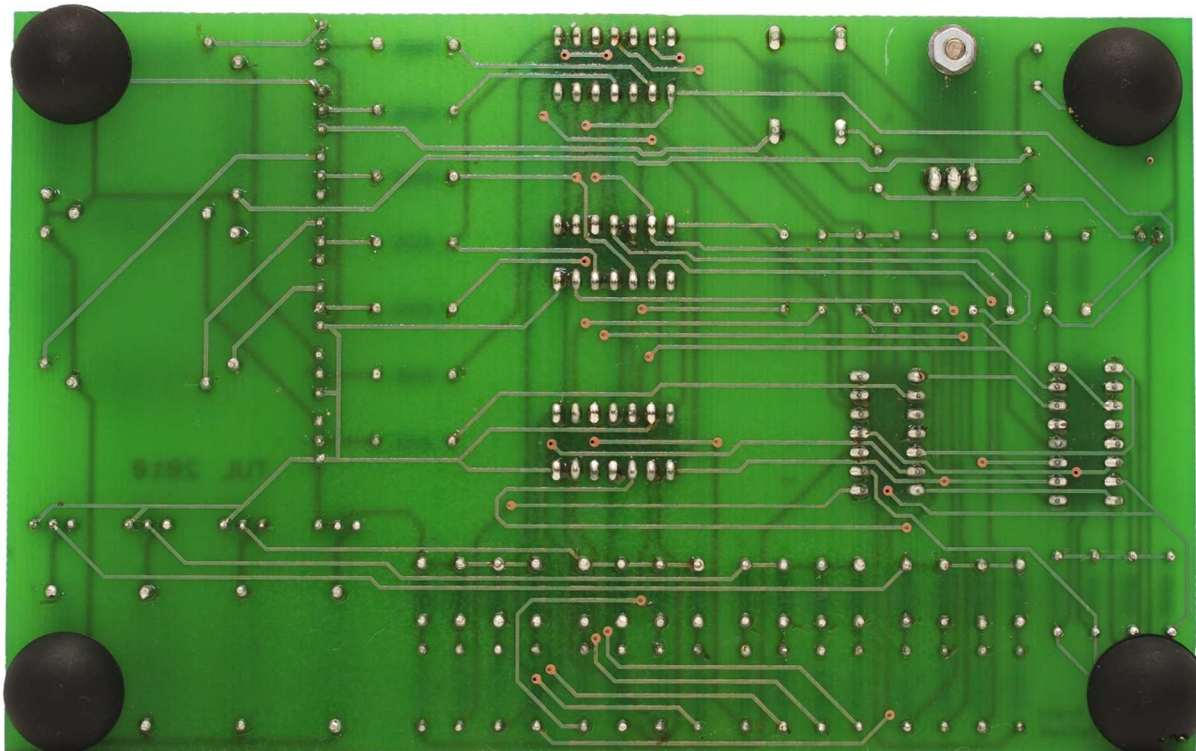
2.4. Seznam použitých součástek

C1	100 nF
C2	330 nF
D1, D18	1N5060GP
D2 – D17	Schottkyho dioda 1N5819-B
F1	PRFX 110 (500 mA)
IO1	7805
IO2	74LS247
IO3	74LS04N
IO4	74LS04N
IO5	74LS04N
IO6	74LS04N
JP1	PLD-08 SE - Jumper 2,64mm, 2 X 4
LED1	5mm GREEN 2,20V/10mA
R1 – R4	5k
R5 – R11	15k
R12 – R18	220R/2W, 0414
R19, R22	82k
R20, R21	150k
R23, R26	82k
R24, R25	150k
R27	220R/2W, 0414
R28, R31	82k
R29, R30	150k
R32	220R/2W, 0414
R33, R37	82k
R34, R36	150k
R35	220R/2W, 0414
R38	220R/2W, 0414
R39	300R
R40 – R47	5k
S1	HEB 21
T1 – T11	BC337-40

2.5. Výsledný přípravek



Obr. 20 Výsledný přípravek – pohled shora



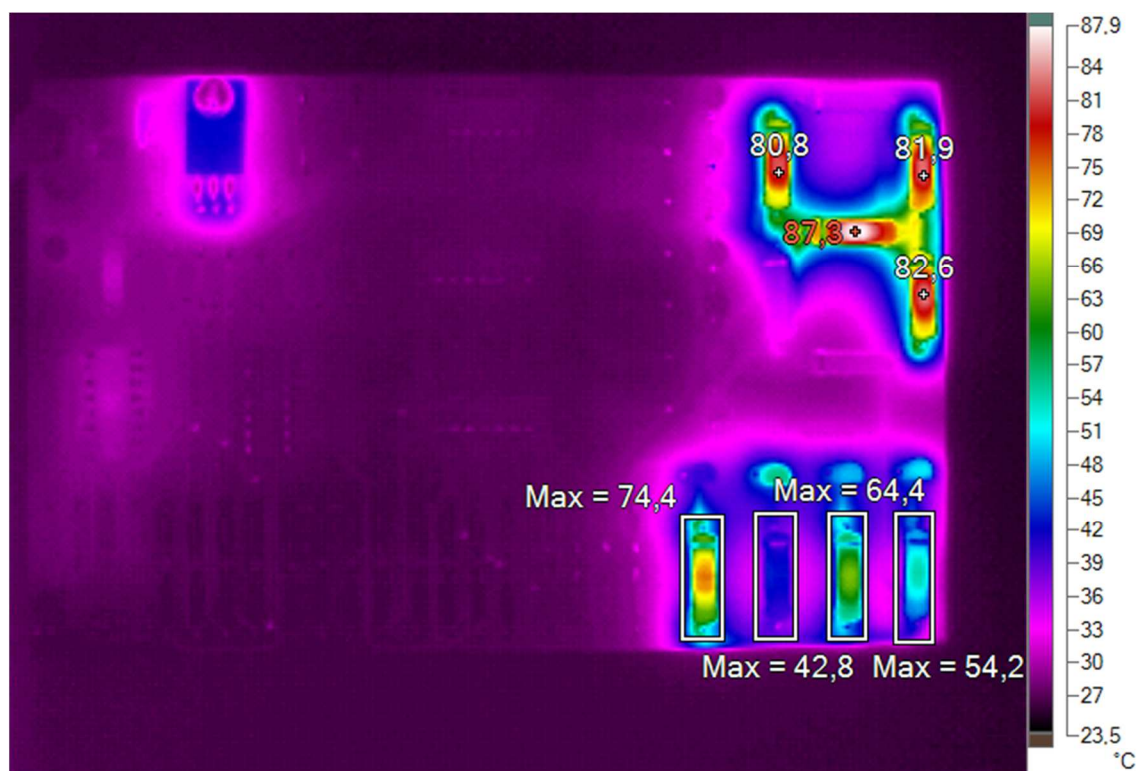
Obr. 21 – Výsledný přípravek – pohled zdola

3 Experimentální měření na hotovém prototypu

Veškeré měření bylo prováděno termokamerou Fluke modelem Ti55

3.1. Ukázkové snímky

Jako ukázkový snímek jsem vybral zobrazení symbolu „4“, na kterém jsou vidět jednotlivé stupně zahřátí spodních čtyř rezistorů.



Obr. 22 Ukázkový snímek

Na Obr. 22 můžeme vidět svítící symbol „4“, u kterého byla maximální teplota naměřená termokamerou 87,3°C. Vlivem tolerance použitých součástek se bude teplota jednotlivých segmentů nepatrně lišit, minimální teplota segmentu „f“ je 80,8°C, tedy se nejedná o nějak velké rozdíly hodnot a na zobrazení symbolu to nemá výrazný vliv. Dále je na spodní čtveřici rezistorů vidět odstupňování jednotlivých stupňů zahřátí. Dá se říci, že minimální teplota je 42,8°C a maximální 74,4°C, tedy jednotlivé stupně jsou v rozmezí přibližně 10-ti °C

Shrnutí vlastností funkčního prototypu přípravku

Po prvním odzkoušení vyrobeného přípravku a vyfotografování prvních snímků termokamerou jsem se nesetkal s žádnými problémy, vše fungovalo, jak mělo. Na výsledném snímku z termokamery bylo možné vidět lišící se teploty jednotlivých segmentů, což je způsobeno rozdílnými hodnotami součástí, které jsou ovšem v toleranci.

Po odzkoušení správnosti zobrazování všech šestnácti možných stavů, jsem ověřil, že navržený přípravek funguje dle návrhu. Pořídil jsem termosnímky všech možných stavů, které jsou uvedeny v příloze.

Závěr

Cílem této bakalářské práce byla konstrukce přípravku pro bezdotyková měření teploty, který bude sloužit jako laboratorní úloha předmětu Měřicí technika II.

Při psaní jednotlivých kapitol této bakalářské práce, jsem se snažil postupovat přesně tak, jak jsem se zabýval jednotlivými částmi během celé práce. Přes počáteční studium bezdotykového měření teplot, popisu funkce moderních bezdotykových teploměrů a termokamer, až k samotné realizaci přípravku pro bezdotyková měření teploty.

Před samotnou konstrukcí přípravku, bylo nutné nejprve navrhnout jednotlivé bloky obvodů a odzkoušet je, zda fungují dle požadavků. Nejprve bylo nutné zajistit, aby spínací tranzistor správně spínal a zatěžovacím rezistorem (v našem případě můžeme říkat segmentem) protékal takový proud, který zahřeje rezistor na takovou hodnotu, která bude na termokameře dobře čitelná a zároveň při nechtěném dotyku nezpůsobí žádná vážná zranění, tedy popáleniny. Po navržení a odzkoušení této části jsem pokračoval v „oživení“ celého obvodu, tedy připojením integrovaných obvodů, navržení zdroje pro napájení integrovaných obvodů a nakonec celkové ošetření celého obvodu v podobě ochranných diod a pojistky. Po kompletním návrhu přišlo na řadu ověření správné funkce, tedy sestavení na univerzální desku plošných spojů a následné odzkoušení změřením termokamerou.

Pro návrh desky plošných spojů jsem používal návrhový systém EAGLE a pro veškeré upravené termosnímký byl použit software SmartView ve verzi 3.1, který je dodáváný spolu s termokamerou Fluke Ti55.

Citovaná literatura

- [1] Doc. Ing. Milan Pavelek, CSc., Teorietermovizních měření
PAVELEK, Milan. *Teorie termovizních měření* [online]. 8 s.
- [2] KADLEC, K. *Bezdotykové měření teploty : Příprava na práci v laboratoři* [online].
VŠCHT Praha, 2009. 22 s. Ústav fyziky a měřicí techniky VŠCHT Praha. Dostupné z WWW:
<<http://www.vscht.cz/ufmt/kadleck.html>>.
- [3] PLÍVA, Zdeněk; DRÁBKOVÁ, Jindra. *Metodika zpracování diplomových, bakalářských
a vědeckých prací na FM TUL* [online]. Liberec, 2009. Dostupné z WWW:
<http://www.fm.tul.cz/files/jak_psat_DP.pdf>.
- [4] NOVÁK, Miroslav. *Projektování elektrotechnických systémů*. TUL.
- [5] ĎAĎO, S.; KREIDL, M. *Měřicí převodníky fyzikálních veličin*. Praha : ČVUT, 1999.
- [6] JELÍNEK, Jiří. *Měřicí technika II*. Přednášky TUL, 2010.
- [7] KOLÁŘ, M. *Analogová elektronika*. Přednášky TUL, 2010.
- [8] VAVŘINKA, Roman. *Bezdotykové měření teplot*. Praha : ČVUT, 2006.
- [9] *Termokamera.cz* [online]. 2008. Dostupné z WWW: <<http://www.termokamera.cz/>>.
- [10] *Fluke Ti55 User manual*. 2007. 132 s.

TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Fakulta mechatroniky, informatiky a mezioborových studií



PŘÍLOHY BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Návrh a realizace přípravku pro bezdotyková
měření teploty

Design and Implementation of Device for Contactless
Temperature Measurement

Liberec 2011

Franc Tomáš

Rozsah příloh bakalářské práce: 11 stran

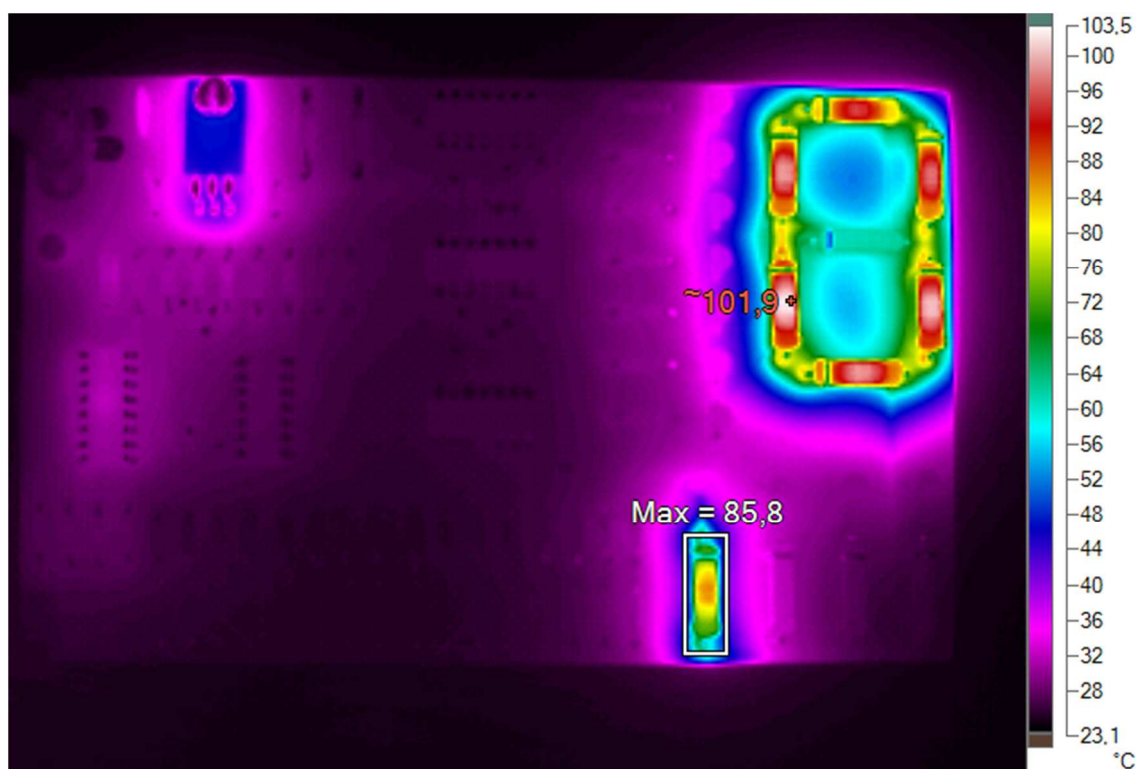
Seznam příloh

A Termografické snímky všech pracovních stavů přípravku.....	36
B Přílohy v elektronické formě	45

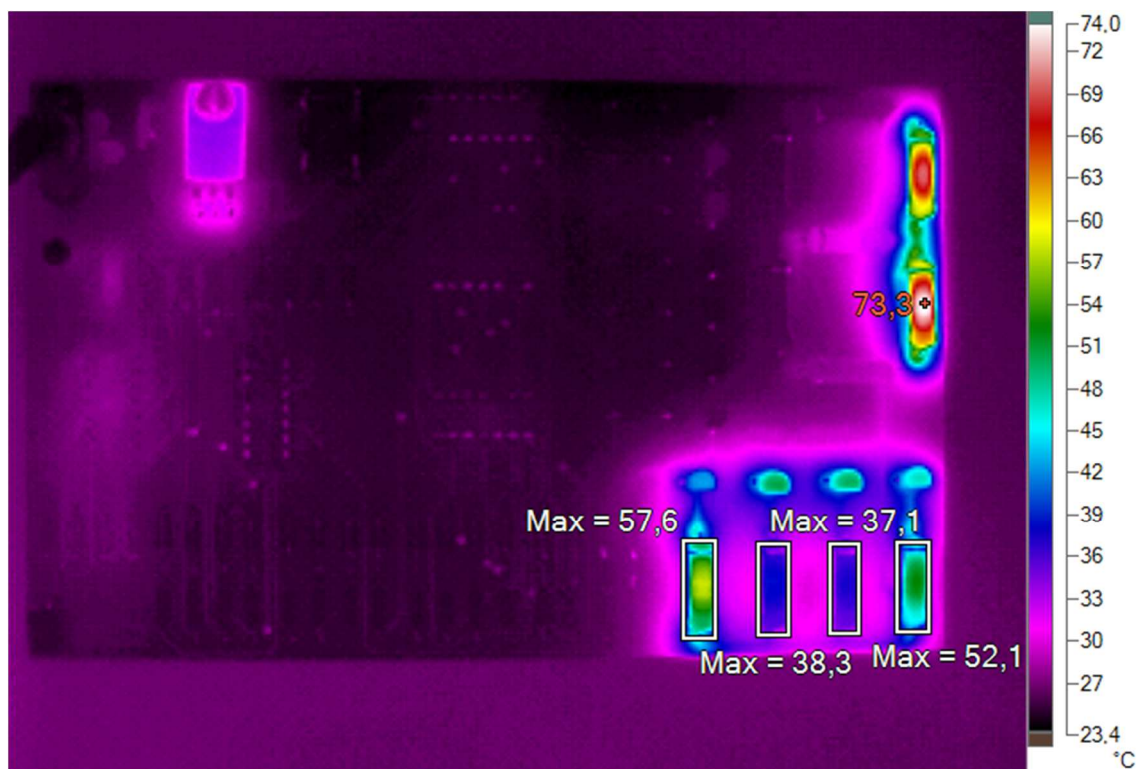
A Termografické snímky všech pracovních stavů přípravku

Na níže uvedených obrázcích jsou ukázány všechny možné kombinace symbolů na displeji, přičemž odpovídají číslům symbolům uvedených v Tab. 2. Logické stavy jsou číslovány od nuly.

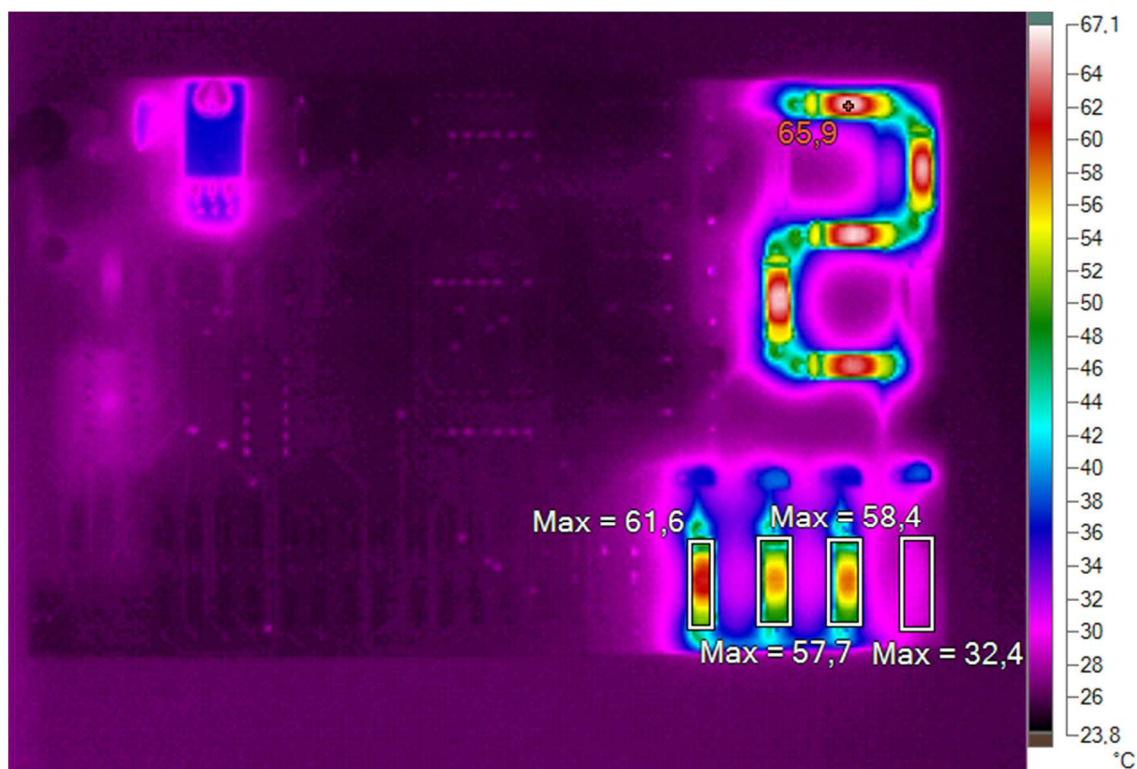
Zobrazení symbolu č. 0



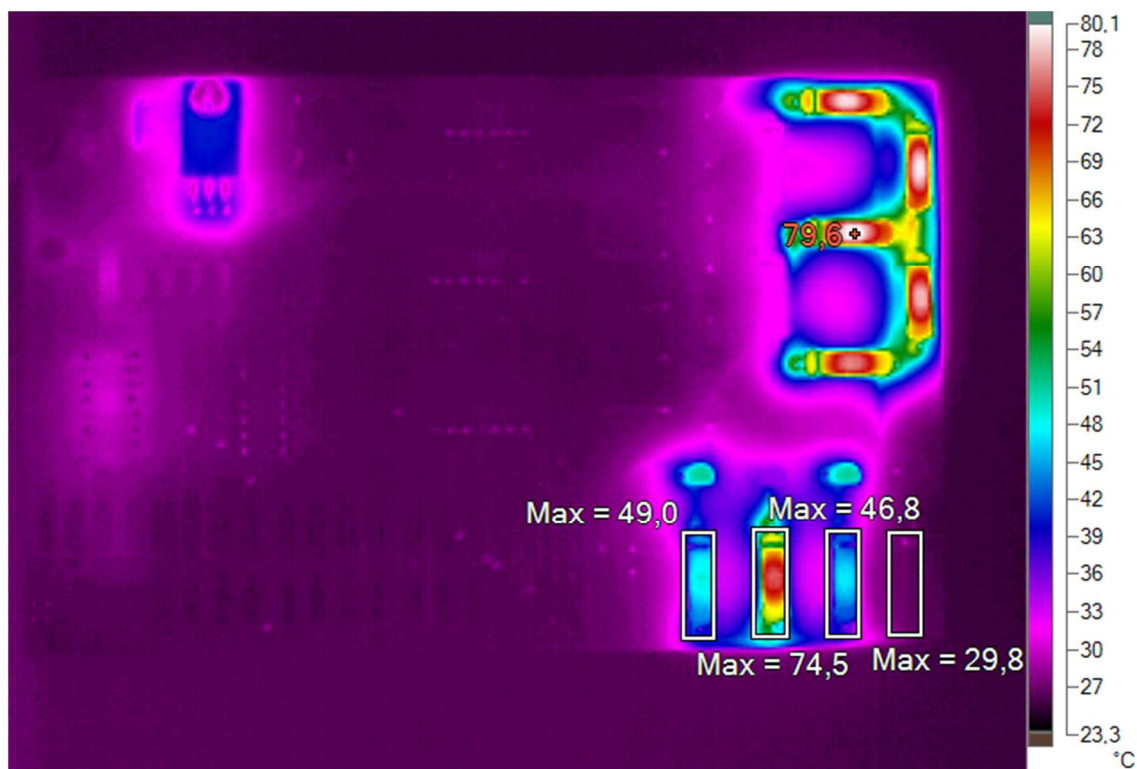
Zobrazení symbolu č. 1



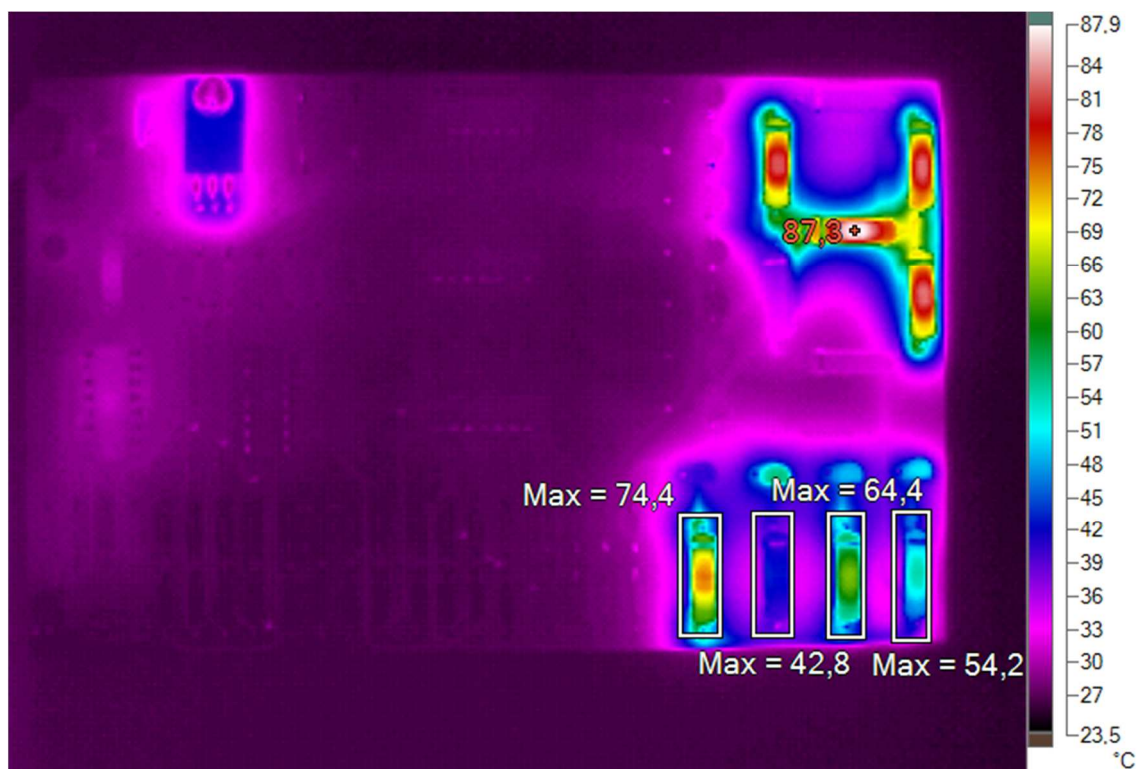
Zobrazení symbolu č. 2



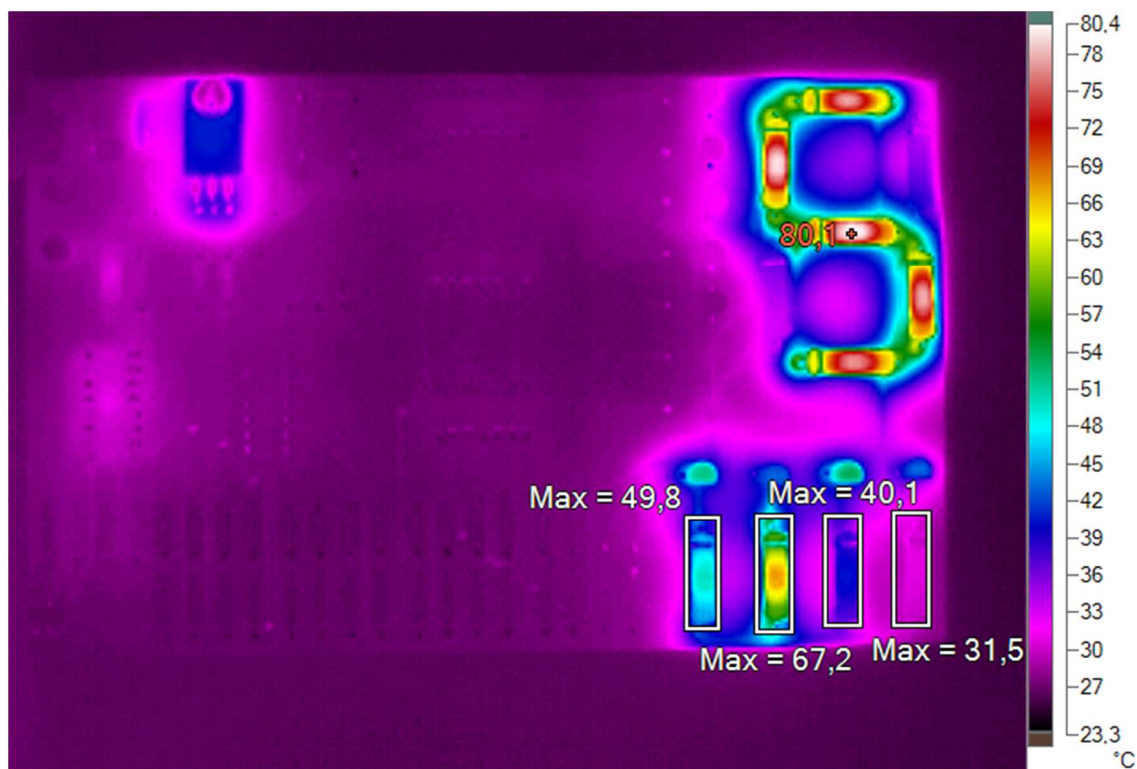
Zobrazení symbolu č. 3



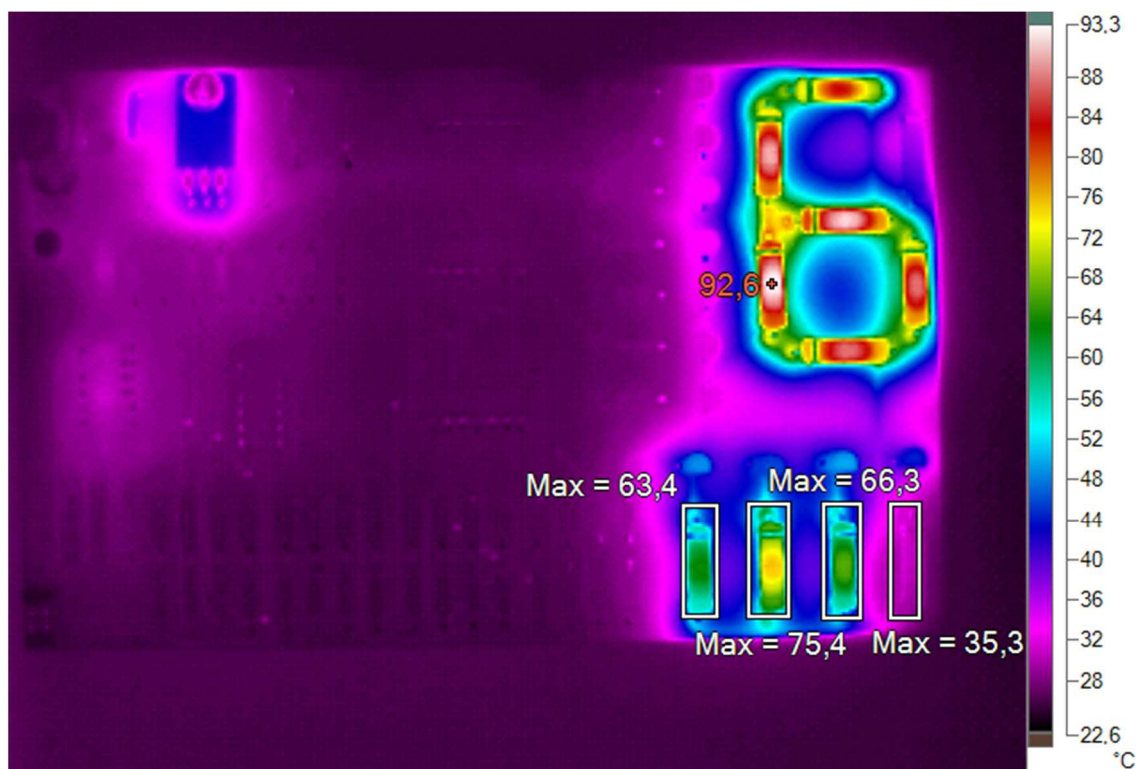
Zobrazení symbolu č. 4



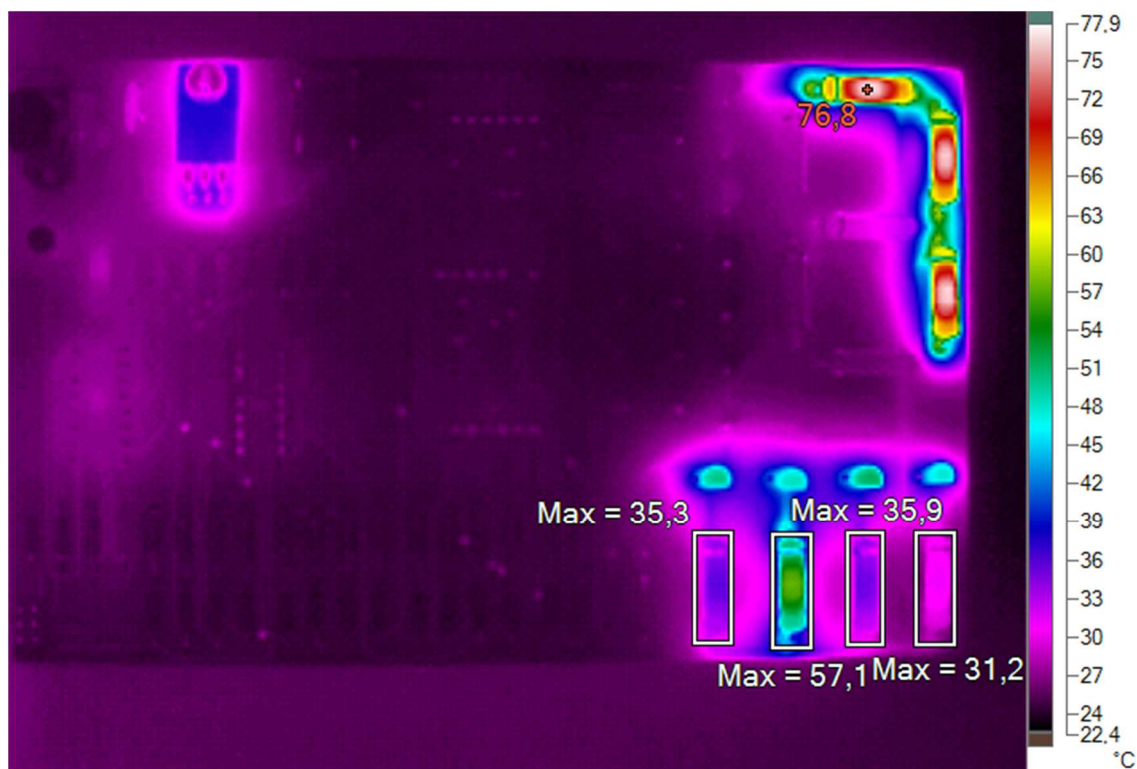
Zobrazení symbolu č. 5



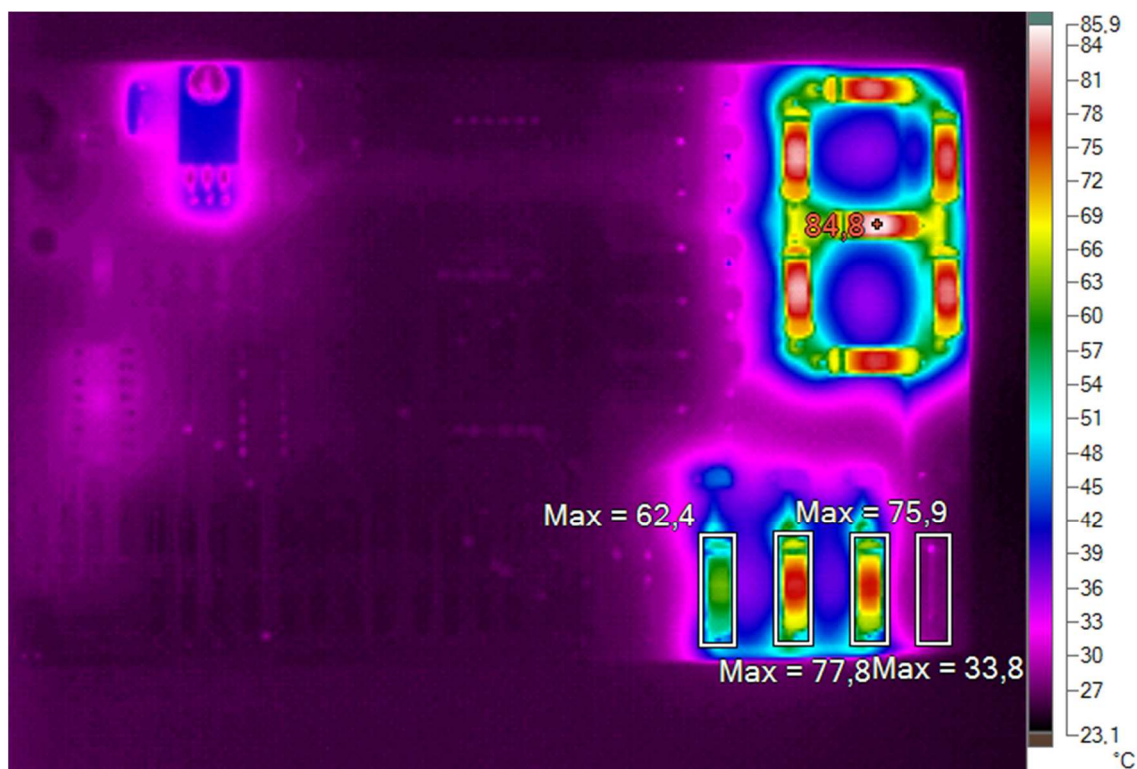
Zobrazení symbolu č. 6



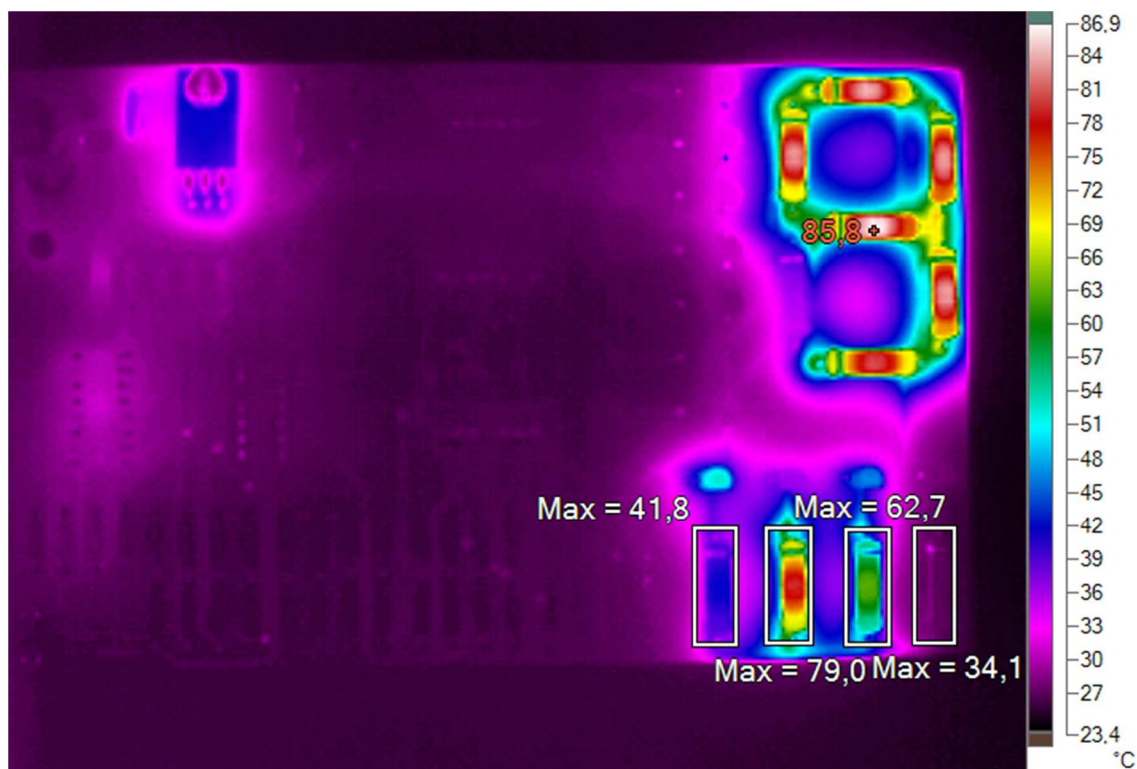
Zobrazení symbolu č. 7



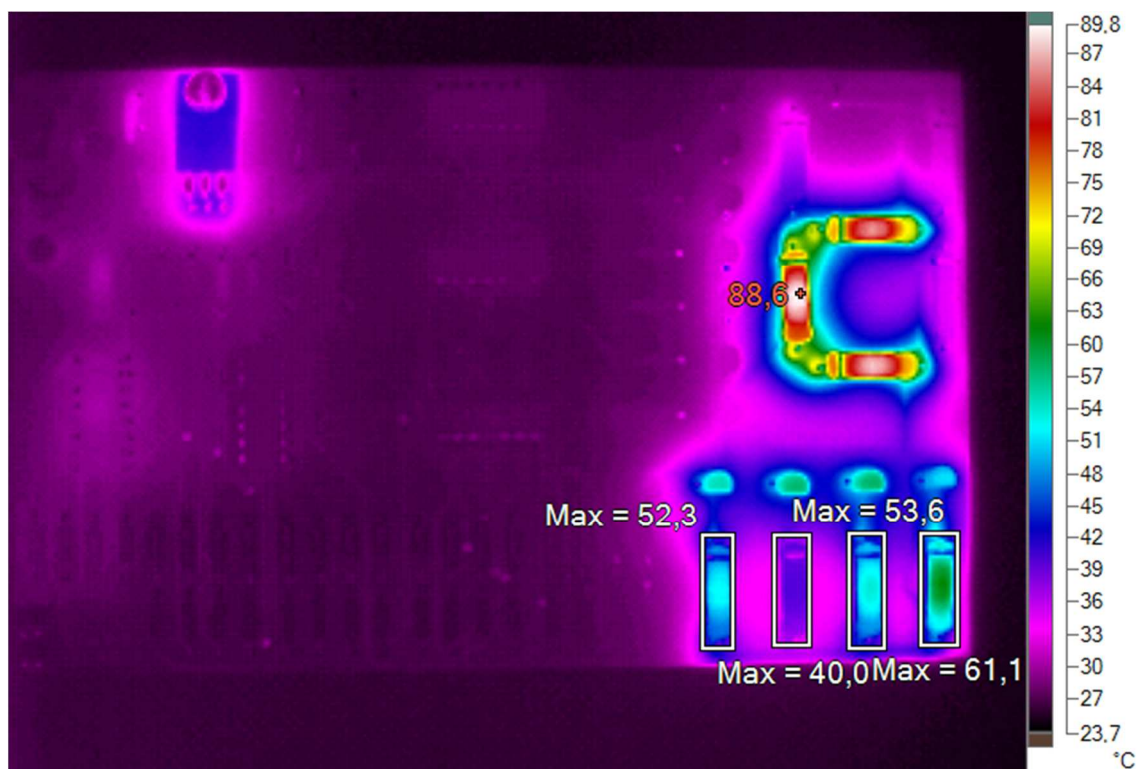
Zobrazení symbolu č. 8



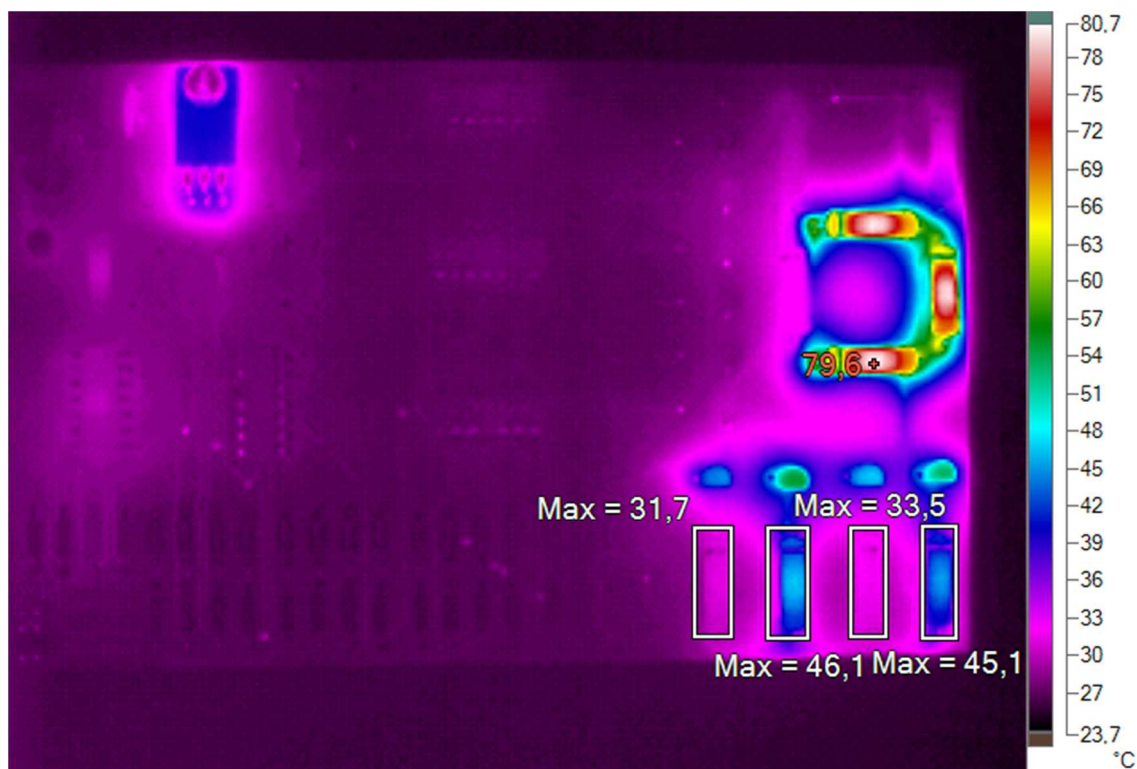
Zobrazení symbolu č. 9



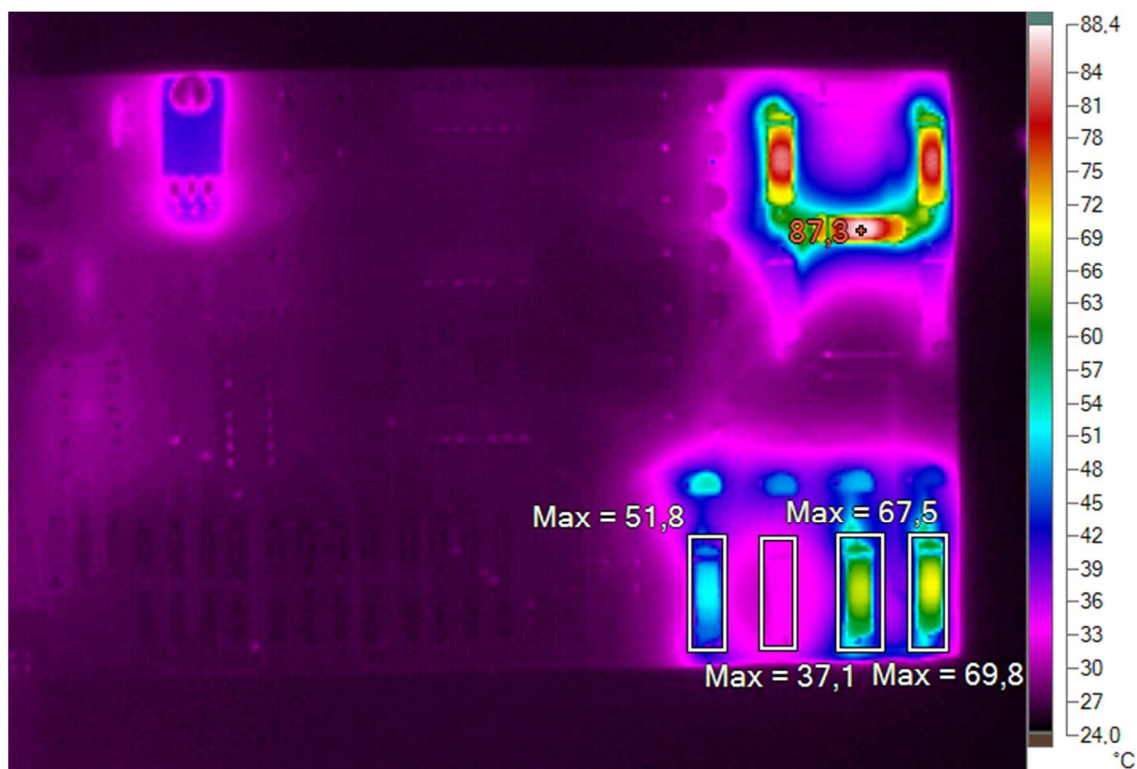
Zobrazení symbolu č. 10



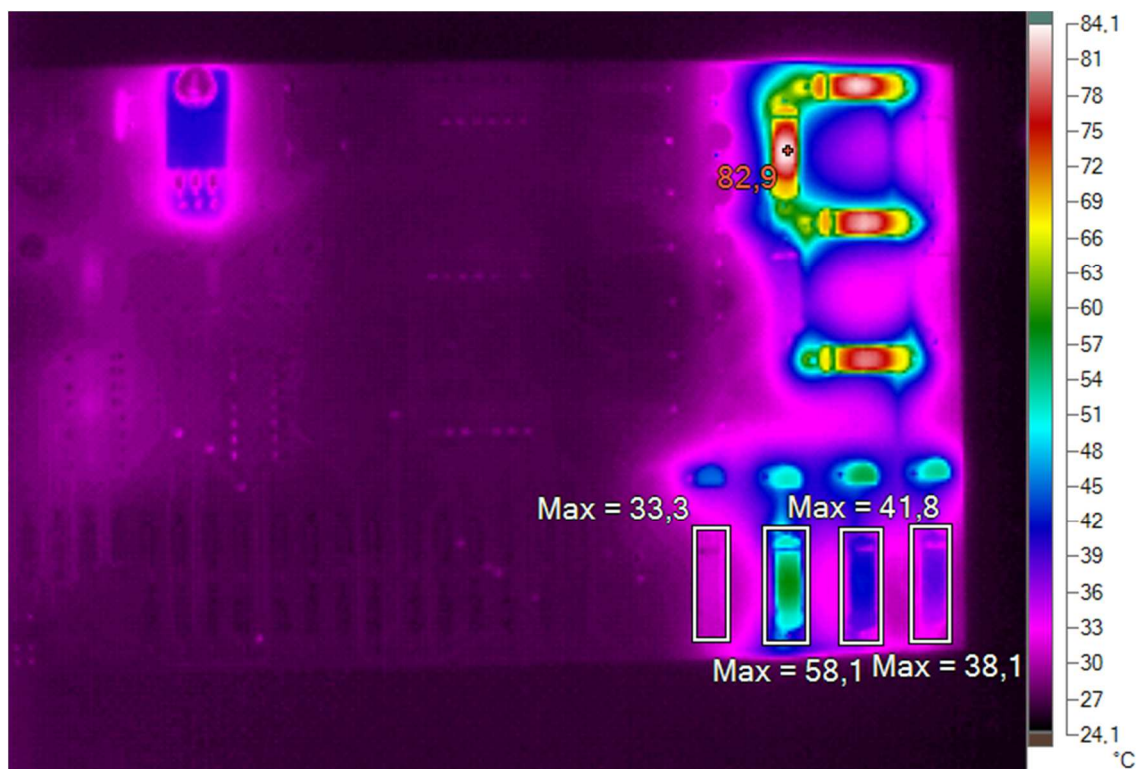
Zobrazení symbolu č. 11



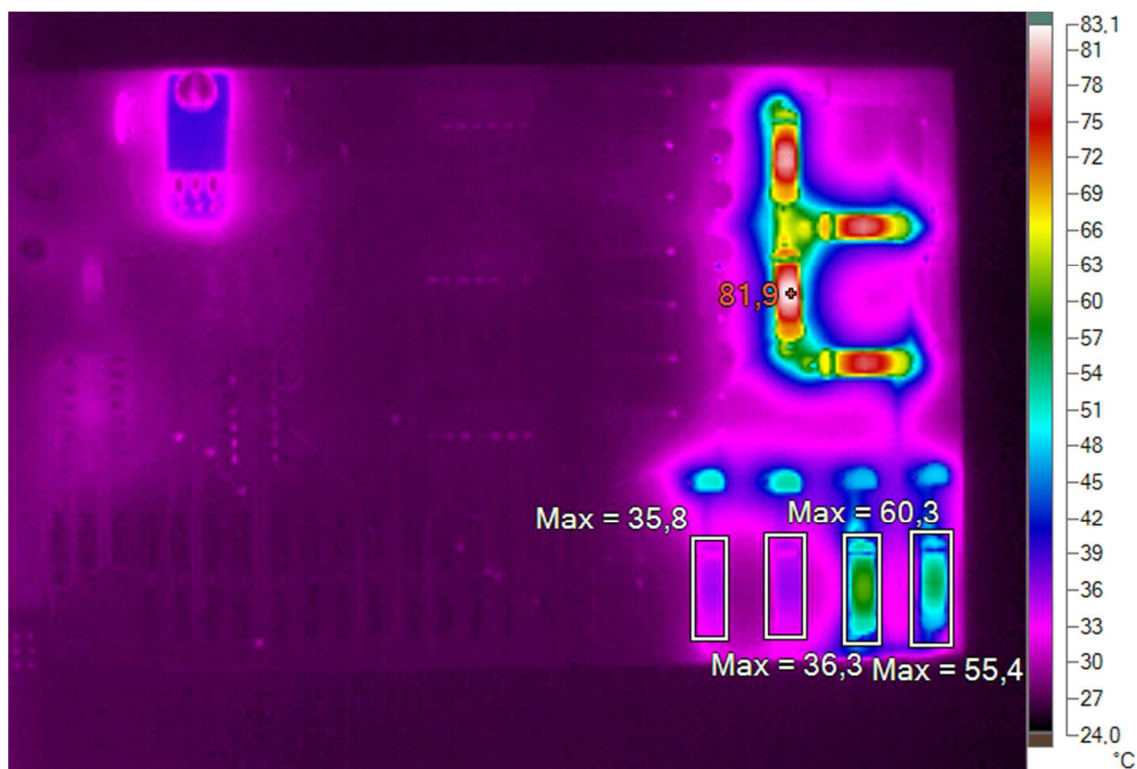
Zobrazení symbolu č. 12



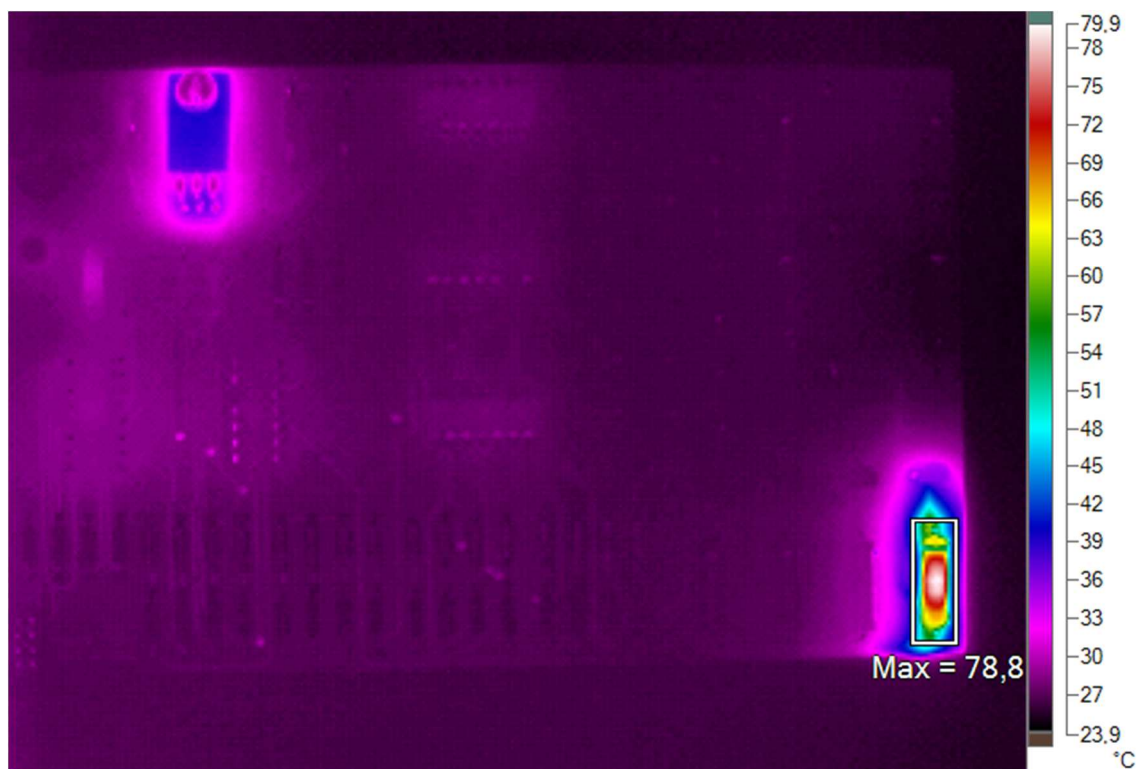
Zobrazení symbolu č. 13



Zobrazení symbolu č. 14



Zobrazení symbolu č. 15



B Seznam příloh v elektronické formě

Celou bakalářskou práci přikládám i v elektronické podobě na CD.

Soubor:	Typ:	Popis:
Přípravek pro bezdotyková měření teploty	*.pdf	Bakalářská práce v elektronické podobě
Symbol_0	*.png	Obrázek zobrazení symbolu „0“
Symbol_1	*.png	Obrázek zobrazení symbolu „1“
Symbol_2	*.png	Obrázek zobrazení symbolu „2“
Symbol_3	*.png	Obrázek zobrazení symbolu „3“
Symbol_4	*.png	Obrázek zobrazení symbolu „4“
Symbol_5	*.png	Obrázek zobrazení symbolu „5“
Symbol_6	*.png	Obrázek zobrazení symbolu „6“
Symbol_7	*.png	Obrázek zobrazení symbolu „7“
Symbol_8	*.png	Obrázek zobrazení symbolu „8“
Symbol_9	*.png	Obrázek zobrazení symbolu „9“
Symbol_10	*.png	Obrázek zobrazení symbolu „10“
Symbol_11	*.png	Obrázek zobrazení symbolu „11“
Symbol_12	*.png	Obrázek zobrazení symbolu „12“
Symbol_13	*.png	Obrázek zobrazení symbolu „13“
Symbol_14	*.png	Obrázek zobrazení symbolu „14“
Symbol_15	*.png	Obrázek zobrazení symbolu „15“
Přípravek - přední strana	*.jpg	Obrázek přední strany přípravku
Přípravek - zadní strana	*.jpg	Obrázek zadní strany přípravku